

Universitat de Lleida

**Efectivitat de l'entrenament amb oclusió sanguínia
preintervenció quirúrgica, per reduir el temps de
recuperació postintervenció, en esportistes d'esports
intermitents lesionats de LCA: protocol d'estudi pilot
amb disseny d'assaig clínic aleatoritzat**

Pere Alemany Alomar

FACULTAT D'INFERMERIA I FISIOTERÀPIA

Doble titulació: Grau en Fisioteràpia i Ciències de l'activitat física i de l'esport

Presentat a: Francisco J. Verdejo Amengual

Treball final de grau (TFG)

Curs acadèmic 2019-20

25 de maig de 2020

“Tot ésser humà, si s'ho proposa, pot ser escultor del seu propi cervell”
S. Ramón i Cajal

Índex de continguts

1.	Resum	7
2.	Abstract.....	8
3.	Introducció	9
3.1	Lesió lligament creuat anterior	9
3.1.1	Anatomia/estructura	9
3.1.2	Funcions	10
3.1.3	Mecanisme lesional	11
3.1.4	Diagnòstic.....	13
3.1.5	Valoració	14
3.1.6	Diagnòstic per imatge	16
3.1.7	Tractament.....	17
3.1.8	Alta mèdica i esportiva	21
3.2	Entrenament amb oclusió	23
3.2.1	Què és?	23
3.2.2	Tipus d'oclusió.....	23
3.2.3	Mecanisme fisiològic	25
3.2.7	Hipertròfia.....	27
3.2.8	Força muscular	29
3.2.9	Efectes adversos	31
3.2.10	Contraindicacions	33
3.3	Justificació.....	33
4.	Objectius i hipòtesis.....	35
5.	Metodologia	36
5.1	Disseny	36
5.2	Subjectes d'estudi	36

5.3	Variables d'estudi.....	38
5.3.1	Variables dependents:	38
5.3.2	Variables independents:	39
5.4	Maneig de la informació/recollida de dades	40
5.5	Generalització i aplicabilitat	40
5.6	Anàlisi estadística	41
5.7	Pla d'intervenció.....	41
6.	Pla de difusió	43
7.	Limitacions i possibles biaixos	44
8.	Problemes ètics	45
9.	Organització de l'estudi	46
10.	Pressupost.....	49
11.	Annexos.....	49
11.1	Annex 1: Calendari de tractament previst.....	49
12.	Bibliografia	51

Llistat de taules

Taula 1: Factors extrínsecs i intrínsecs [23-26]	12
Taula 2: Resum dels canvis produïts a la hipertròfia deguts a l'entrenament oclusiu	29
Taula 3: Resum dels canvis produïts en la mesura i la força muscular a causa de l'entrenament oclusiu	31
Taula 4: Resum dels marcadors de dany musculars produïts per l'entrenament oclusiu	33
Taula 5: Classificació de variables. Font: elaboració pròpia.	39
Taula 6: Progressió de càrregues	42
Taula 7: Cronograma de l'estudi	48
Taula 8: Pressupostos	49

Llistat de figures

Figura 1: Moviments dels fascicles Anteromedial i Posterolateral [16].....	11
Figura 2: GNRB	22
Figura 3: Kaatsu master 2.0	24
Figura 4: Respostes hemodinàmiques de l'entrenament oclusiu i l'entrenament amb càrregues altes	32
Figura 5: BTE Primus SR	38
Figura 6: Escala EVA.....	39

1. Resum

Pregunta clínica d'investigació: És efectiu un protocol de tres setmanes d'entrenament oclusiu preintervenció quirúrgica de LCA per reduir el temps de tornada a l'activitat esportiva en esportistes de 18 a 40 anys, comparat amb un grup que segueix només tractament de força i un grup control?

Objectiu: Determinar l'efectivitat d'un entrenament d'oclusió preoperatori de 3 setmanes en la musculatura flexo-extensora de genoll per reduir el temps de recuperació postintervenció de LCA en esportistes d'esports intermitents d'entre 18 i 40 anys.

Metodologia: Protocol d'estudi pilot amb disseny d'assaig clínic aleatoritzat simple cec de 3 braços, amb una població diana d'esportistes lesionats del LCA. Els participants seran assignats a un programa d'exercici supervisat per fisioterapeutes, que dirigiran les sessions d'intervenció que seran tres setmanes, tres dies a la setmana. Un grup realitzarà un programa d'entrenament preoperatori de força i entrenament oclusiu (INTo), el segon sols entrenament de força preoperatori (INTe) i, un grup control (CON) que únicament realitzarà les valoracions. Després de la intervenció tots realitzaran el mateix tractament i es realitzaran valoracions de força i rang de moviment. Les mesures es realitzaran amb el BTE Primus SR i l'escala EVA i l'oclusió amb el dispositiu Kaatsu master 2.0. L'estudi tindrà una durada aproximada de dos anys.

Resultats esperats: El temps de recuperació postintervenció quirúrgica de LCA del grup INTo es veurà reduït després del protocol amb oclusió de tres setmanes, envers els altres dos grups.

Paraules claus: Fisioteràpia, entrenament oclusiu, restricció de flux sanguini, readaptació, lligament creuat anterior, tornada a l'activitat

2. Abstract

Clinical research question: A three-week occlusive training protocol before an ACL post-surgery is effective to reduce the time to return to play in athletes aged 18 to 40 years, compared to a group undergoing strength-only treatment and a control group?

Aim: To determine the effectiveness of a 3-week pre-surgery occlusion training on the knee flexor-extensor musculature to reduce post-surgery ACL recovery time in intermittent sports athletes between 18 and 40 years.

Methodology: Pilot study protocol with simple 3-arm blinded randomized clinical trial design, with a target population of ACL injured athletes. Participants will be assigned to an exercise program supervised by physiotherapists, who will lead the intervention sessions which will be three weeks, three days a week. One group will perform a pre-surgery strength training and occlusive training program (INTo), the second only pre-surgery strength training (INTe) and a control group (CON) that will only perform the assessments. After the intervention everyone will perform the same treatment and assessments of strength and range of motion will be performed. Measurements will be performed with the BTE Primus SR and the EVA scale and occlusion with the Kaatsu master 2.0 device. The study will last approximately two years.

Results expected: The post-surgery ACL recovery time of the INTO group will be reduced after the three-week occlusion protocol, compared to the other two groups.

Key words: fisioteràpia, entrenament oclusiu, restricció de flux sanguini, readaptació, ligament creuat anterior, retorn al joc

3. Introducció

3.1 Lesió lligament creuat anterior

3.1.1 Anatomia/estructura

El lligament creuat anterior (LCA) és un lligament intraarticular que s'insereix, distalment, a l'àrea de la cara superior de l'extremitat proximal de la tibia per acabar, proximalment, en la porció posterior de la superfície interna del còndil femoral extern i està format per nombroses fibres que s'obren en ventall sobre una àrea extensa i plana. Els lligaments proporcionen el 90% de l'estabilitat del genoll durant la translació anterior [1,2]. Els fascicles es divideixen en dues bandes, que l'any 1968 Lam [3] els va denominar d'aquesta manera: la banda anteromedial (AM) i la posterolateral (PL). Amb el genoll en extensió, les bandes PL es troben tenses, i amb la flexió màxima, les bandes AM es troben tibants. Les fibres del LCA són paral·leles amb el genoll en extensió. Quan es flexiona l'articulació, les fibres anteriors actuen com un eix de torsió i el lligament gira sobre si mateix [4,5].

L'aportació sanguínia del LCA és més aviat precària. Procedeix principalment de branques de l'artèria geniculada medial [9], amb contribució d'algunes branques de l'artèria geniculada lateral inferior. Es forma una xarxa vascular perilligamentosa que penetra al lligament de forma transversal i s'anastomosa amb una xarxa de vasos endolligamentosos orientats longitudinalment. Rep també certa vascularització del plexe sinovial al llarg del seu recorregut. La inserció del lligament en l'os es nodreix dels vasos sinovials que s'anastomosen amb els del periosti [7,8].

Pel que fa a la seva innervació, el LCA rep fibres nervioses procedents del nervi tibial. Penetren a l'articulació per la càpsula posterior i corren entre la sinovial i els vasos perilligamentosos que envolten al lligament. En la seva majoria tenen funció vasomotora. Algunes fibres podrien tenir també una funció sensorial o propioceptiva. Les fibres nociceptives són virtualment inexistent (és per això que en trencar-se el lligament no fa mal) [9].

Hi ha molt pocs receptors en el LCA, i es sap que aquests disminueixen amb l'edat i la presència de microlesions. S'han identificat dos tipus diferents de mecanoreceptors, que se situen per sota de la sinovial i prop de les insercions òssies de lligament: els receptors primaris de Ruffini (encarregats de l'elasticitat) i els corpuscles de Pacini. També trobem terminacions nervioses

lliures, que podrien desenvolupar una funció nociceptiva o ser efectors locals de neuropèptids amb efecte vasoactiu [9].

3.1.2 Funcions

Els moviments del genoll

El genoll és una articulació amb 6 graus de llibertat que possibilita realitzar 3 moviments combinats. Els dos més importants són la flexo-extensió (130-140°) i la rotació interna (30-35°) i externa (40-50°) [10]. Hi ha un tercer grau de llibertat amb el genoll en flexió, responsable dels moviments d'abducció i adducció de la mateixa de 2-3° d'amplitud [11].

Funcions dels lligaments

Els lligaments creuats s'encarreguen alhora de dues funcions aparentment oposades. Per una banda, guien la mobilitat de les superfícies articulars. D'altra banda, restringeixen el seu rang de mobilitat limitant l'acció d'algunes forces. Aquest paper ve determinat per la configuració anatòmica de les insercions femoral i tibial dels lligaments, i per les propietats mecàniques intrínseques d'aquests.

El LCA dirigeix el lliscament del còndil femoral en direcció anterior durant la flexió del genoll. És considerat el principal restrictor primari de la translació anterior de la tibia respecte al fèmur, exercint la seva activitat amb major resistència entre els 15° i els 30° de flexió [12,13] està tens de manera global en extensió i flexió completes.

Cadascun dels seus fascicles (l'anteromedial i el posterolateral) contribueix de forma individual assegurant aquesta estabilitat [3], i mostrant així, cert sinergisme en la seva funció, tot i ser biomecànicament diferents [14]. Amb el genoll en extensió els fascicles AM i PL són pràcticament paral·lels entre si, estant el PL tens i l'AM moderadament lax. Amb la flexió del genoll, l'AM fa un gir lateral sobre el PL, augmentant gradualment la seva tensió mentre el PL es relaxa [15].

El feix AM és considerat el principal limitador de la translació anterior de la tibia sobre el fèmur amb el genoll en flexió [16] (figura 1). Amb el genoll en extensió, el LCA funciona com a estabilitzador secundari controlant la rotació interna, i una mica menys l'externa. En flexió,

limita la rotació externa sense tenir cap acció sobre la interna. Així com el feix AM és bàsic per a l'estabilitat anteroposterior del genoll, el feix PL seria clau per mantenir l'estabilitat rotacional del mateix [17].

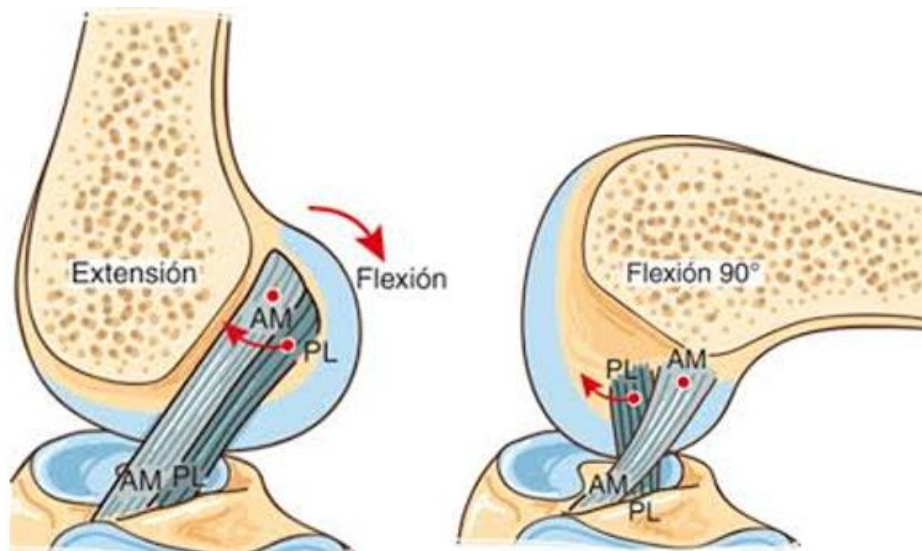


Figura 1: Moviments dels fascicles Anteromedial i Posterolateral [16]

3.1.3 Mecanisme lesional

El mecanisme de lesió més freqüent, en el LCA, és la rotació del fèmur sobre una tibia fixa (peu recolzat) durant un moviment de valc excessiu o forçat (pivot). També és comú la hiperextensió del genoll, aïllada o en combinació amb rotació interna de la tibia. Darrerament s'han observat lesions del LCA durant una flexió forçada de genoll, pel que pot considerar-se un tercer mecanisme lesional [18].

La participació en esports de competició és, un dels majors factors de risc. Concretament, la pràctica d'esport amb canvis de ritmes tres cops per setmana ens indica un augment del ràtio de 4,0 en cas d'homes i de 8,5 en cas de dones [19]. En aquest estudi es pot veure que aquesta lesió és més comuna en els esports de pista, aquest tipus d'esports es caracteritzen per practicar-se en una pista o un terreny de joc senyalitzat per unes marques, o altres elements necessaris per a poder dur-se a terme, ja siguin porteries, cistelles o xarxes que divideixen el terreny de joc [20].

Durant l'interrogatori clínic, el 40% dels pacients refereixen haver sentit un espetec o "pop" en el moment de la lesió, seguit d'una sensació de luxació i, en la major part dels casos, amb una incapacitat per continuar l'activitat esportiva [21,22].

El 70-80% de les lesions del LCA són lesions sense contacte i menys d'un 30% són amb contacte. El mecanisme de lesió del LCA més comú en esportistes és una desacceleració amb un canvi de direcció sobtat amb el peu plantat a terra o en l'aterratge després d'un salt [23]. Un dels mecanismes més comunament descrits en dones és l'aterratge d'un salt amb maluc i genoll en completa extensió, valc de genoll, rotació interna de genoll i pronació del peu, l'anomenada "posició de no retorn" [23]. A més, concretament en dones influeix un mal control de tronc, un moviment lateral del tronc sobre la cama de suport creant forces abductores de genoll. Aquesta lesió representa un 15-30% del total de les lesions en el món de l'esport [23].

També es pot observar el mecanisme de lesió de rotació interna de la tibia amb el genoll completament estès o amb el genoll flexionat més enllà de 90°. Mentrestant, les lesions amb contacte estan associades a una força excessiva cap al valg relacionada amb lesions en el menisc intern i el lligament intern [23-25].

Totes aquestes lesions estan condicionades per una sèrie de factors de risc intrínsecs i extrínsecs (veure taula 1). Els principals riscos que presenta la població que trobem a la literatura són [23-26]:

Factors intrínsecs	Sexe: fent que el sexe femení tingui una predisposició major a patir aquesta lesió
	Laxitud lligamentosa: incrementa el risc de lesió de LCA
	Angle Q: l'augment d'aquest angle provoca una tracció lateral del quàdriceps i col·loca el LCA de major tensió.
	Surc intercondili: les persones amb el solc més petit i estret són més propenses a trencar-se el LCA.
	Major inclinació de la meseta tibial cap a lateral.
	Menor amplitud del solc intercondili.
Factors extrínsecs	El tipus d'esport, ja que els esports amb canvis de ritmes i de direcció (normalment esports de contacte) són els més lesius.
	El tipus de pista on es practiqui l'esport.
	Un clima sec.
	Les sabates utilitzades.
	El contacte amb altres esportistes

Taula 1: Factors extrínsecs i intrínsecs [23-26]

3.1.4 Diagnòstic

Històricament, les lesions de LCA han estat mal diagnosticades. Un estudi britànic [27] publicat l'any 1996 va mostrar que menys del 10% dels pacients amb lesió del LCA tenia el diagnòstic realitzat pel primer professional amb el qual es van visitar i que el retard mitjà des de la primera visita fins al diagnòstic definitiu era de vint-i-un mesos. A més, aproximadament el 30% dels pacients que es van presentar en una clínica especialitzada en genoll havien vist prèviament a un cirurgià ortopèdic sense que es fes el diagnòstic [28].

El diagnòstic precoç d'una lesió del LCA és important, ja que un retard entre la lesió del LCA i la seva posterior reconstrucció s'associa amb un major risc de dany als meniscs, en particular al menisc medial i també del cartílag articular. En l'actualitat, el retard mitjà des de la primera visita fins al diagnòstic definitiu de lesió del LCA es considera que és de deu setmanes [28].

Diferents estudis, com el de Bollen i Scott (1996) [27] suggereixen 2 possibles causes que justifiquin el baix índex de precisió diagnòstica en el cas de les lesions del LCA. En primer lloc, el personal d'urgències i atenció primària podria no tenir l'experiència a l'hora d'avaluar i diagnosticar correctament lesions del LCA. En segon lloc, l'examen d'una lesió aguda del LCA podria ser difícil a causa de la combinació de dolor i inflamació i, si en aquest moment no es pogués demostrar la laxitud d'aquest lligament, objectivament no es podria arribar a considerar un diagnòstic de lesió del LCA a nivell clínic. No obstant això, la majoria dels pacients descriuen una situació típica, que inclou una lesió de torsió amb, o sense, contacte amb sensació d'espetic, inflor ràpida i possibles símptomes d'inestabilitat. De fet, Bollen i Scott (1996) van informar que el 89,9% dels pacients referien aquests símptomes, amb la qual cosa aquesta història relatada pel pacient podria considerar-se com un altre factor a tenir en compte [28].

Per intentar fer front a aquesta baixa precisió, és necessari destacar la rellevància de les diferents proves diagnòstiques que es coneixen en l'actualitat (tant físiques com complementàries) per la lesió del LCA i, intentar aconseguir així un diagnòstic mèdic immediat per evitar l'aparició de possibles complicacions.

3.1.5 Valoració

Tècniques funcionals

- **Prova de Lachman:** S'imprimeix un moviment enèrgic de translació anterior de la tibia amb el genoll mantingut a 15º de flexió, el breu recorregut s'interromp de manera sobtada per la tensió del lligament creuat anterior. La maniobra es repeteix diverses vegades.

Podem observar:

- Una interrupció suau després d'un recorregut prolongat. Això és patognomònic del trencament del lligament creuat anterior.
- Una interrupció brusca amb un recorregut idèntic certifica la integritat del lligament creuat anterior. En cas d'interrupció sobtada, cal repetir la maniobra amb diversos graus de flexió: propera a l'extensió, però també a 30 i 45º de flexió.
- Una interrupció sobtada retardada correspon a un final de translació brusc de recorregut més llarg. Això s'observa en els trencaments parcials del lligament creuat anterior, durant la cicatrització de l'empelt del lligament creuat anterior sobre el lligament creuat posterior.

En cas d'interrupció sobtada retardada (translació anterior de la tibia exagerada) també s'ha de pensar en el diagnòstic de trencament de lligament creuat posterior [29].

Diferents revisions bibliogràfiques indiquen que la prova de Lachman és el mètode més sensible per diagnosticar el trencament del LCA. A més, aquest mètode té una alta especificitat, ja que la posició del genoll durant aquesta prova (20-30º de flexió) és menys dolorosa que la posició del genoll durant la prova de calaix anterior i per tant, redueix l'acció muscular per protegir el genoll durant la prova. El test de Lachman presenta una sensibilitat del 85% i una especificitat del 94%. Per aquest motiu és considerat la prova gold Standard [30].

A més, el diagnòstic de trencament del LCA és sovint difícil d'establir, especialment en lesions recents amb hemartrosi aguda, però tot i això, s'ha observat que existeix major precisió diagnòstica amb la prova de Lachman en trencaments recents quan el pacient és examinat sense anestèsia general pel que fa a la prova de calaix anterior [31].

- **Pivot Shift Test:** Inicialment descrita per Lemaire, aquest test avalua la rotació interna tibio-femoral combinada amb la translació anterior de la tibia, que és el que passa quan el LCA es lesiona o presenta algun tipus de deficiència. El seu valor diagnòstic és primordial. El que Lemaire va descriure com ressalt és la reducció del platet tibial de davant cap enrere (pivot shift).

La fase dinàmica consisteix a flexionar el genoll en forma passiva i progressiva. El descens brusc de la tibia es produeix entre 20-40°. Sovint el pacient sent el ressalt. Aquest ressalt és l'origen de la sensació d'inestabilitat. La positivitat de la prova de ressalt és patognomònica del trencament de lligament creuat anterior.

Com a aspecte a destacar, hem de saber que algunes lesions associades poden comprometre la pràctica d'aquesta prova: per exemple, trencament de lligament lateral intern, trencament o desinserció de la cinta iliotibial o una interposició mecànica [29].

L'especificitat d'aquest test és molt alta, d'un 98% segons diferents autors, mentre que presenta una baixa sensibilitat del 49%. La raó d'aquesta sensibilitat tan baixa pot explicar-se pel fet que un pacient amb una lesió crònica al LCA estaria familiaritzat amb la presència dels components d'aquest test i existirien unes reaccions musculars protectores que d'alguna manera generen una compensació [31].

- **Prova de calaix anterior:** El trencament de lligament creuat anterior no s'acompanya necessàriament de calaix anterior. La presència d'un calaix anterior assenyala el trencament del lligament creuat anterior. El calaix anterior es produeix en cas de lesions de les tuberositats posteriors i dels meniscs associades al trencament de lligament creuat anterior [29].

Aquesta prova presenta una sensibilitat del 56% i una especificitat del 82%. Huang et al. [31] van descriure 3 causes potencials perquè aquest test ens pot donar un fals positiu.

- La primera causa és que degut a l'hemartrosi i la sinovitis reactiva es pot veure impedita la flexió del genoll a 90°, dificultant així l'acompliment de la prova.
- Com a segona causa, trobem l'acció muscular protectora dels isquiotibials secundaris al dolor articular, que proporcionen una força vectorial oposada a la translació anterior de la tibia, impossibilitant la realització correcta del test.

- Per últim, ja que la banya posterior del menisc intern es toca la vora posterior del còndil femoral intern, això pot impedir la translació anterior de la tibia en cas de lesió del LCA [31].

Per fer un petit resum, podem dir que el test de Lachman és el més vàlid per determinar un trencament del LCA, ja que presenta una gran sensibilitat i especificitat. En un segon lloc trobaríem el Pivot Shift Test, ja que malgrat no ser tan sensible, seria el més específic, arribant en alguns estudis a considerar que la seva especificitat podria arribar a ser d'entre 97-99% [32].

Finalment trobaríem el test del calaix anterior, amb una sensibilitat d'entre 49-62% [33].

Aquestes proves físiques, juntament amb les proves complementàries d'imatge han d'ajudar a realitzar un correcte diagnòstic de lesió del LCA [28,29,31].

3.1.6 Diagnòstic per imatge

Radiografies dinàmiques: Es poden aplicar les proves de Lachman actives (contracció del quàdriceps contra un pes de 7 kg) i passives, en aquest cas amb pesos o aparells específics (Telos). La mesura diferencial seria preferible per evitar els errors del mesurament directe. Els punts de referència es marquen a partir d'una línia que talla de manera tangencial dels platerets tibials. La translació tibial es mesura entre les tangents a la vora posterior d'un platet tibial i a la mateixa vora del còndil corresponent.

El diagnòstic es basa sobretot en el valor de la mesura diferencial. Es considera patològica una translació tibial anterior superior a 2 mm amb prova de Lachman activa.

Ressonància magnètica: La resonància magnètica està indicada sistemàticament, fins i tot en cas de diagnòstic clínic evident, perquè és indispensable per demostrar lesions associades, siguin meniscals, cartilaginoses o de les estructures perifèriques. És la tècnica de diagnòstic per imatge de referència. Segons els estudis, la sensibilitat és del 61-100% (mitjana del 91,5%) i l'especificitat del 82-100% (mitjana del 92,8%).

Signes directes de trencament del LCA:

- Hemartrosi secundària al trencament de lligament creuat anterior en la fase aguda.
- Horitzontalització del lligament creuat anterior.
- Signe de la fossa intercondília buida. És patognomònic del trencament complet de lligament creuat anterior en la seva inserció alta.

Signes indirectes:

- Contusions òssies
- Fractura de Segond (avulsió òssia de l'altiplà tibial lateral): en ressonància magnètica té una especificitat del 92%.
- Signe d'hiperlaxitud lligamentosa anterior: Subluxació anterior de la tibia respecte del fèmur.
- Signe de la banya posterior descobert de menisc extern. Baixa sensibilitat (18%), però és patognomònic de trencament del LCA [29].

GNRB - Automated lachman test for ACL assessment

Aquest aparell es va dissenyar per mesurar la translació anterior de la tibia tot mantenint el fèmur en posició. Els resultats obtinguts proporcionen al metge un diagnòstic objectiu i precís de l'estat del lligament creuat anterior [34].

3.1.7 Tractament

○ Mèdic

El tractament de la ruptura del LCA pot realitzar-se mitjançant dues tècniques quirúrgiques. Depenent d'on procedeix l'empelt, es podrà practicar la tècnica de l'OTO (os-tendó-os) per la utilització del tendó de la ròtula, la tècnica dels isquiotibials en què s'utilitzen els tendons dels músculs gràcil i semitendinos.

Tècnica OTO (os-tendó-os)

La intervenció s'inicia mitjançant una única incisió que va des del pol inferior de la ròtula fins a la vora medial de la tuberositat tibial anterior (TTA) o una de 2 cm des del pol inferior de la ròtula al llarg del tendó de la ròtula i una altra de la mateixa mida just medial a la TTA.

S'extreu l'empelt del terç mitjà del tendó de la ròtula, juntament amb els tacs ossis del periosti. Aquests tacs són d'un màxim de 10 mm de diàmetre, sense arestes i s'afegirà un fil en cada un

d'ells. Una vegada preparat l'empelt, es sutura al tendó de la ròtula i s'estableixen entre 3 i 4 portals artroscòpics que depenen del cirurgià. El procediment comença amb la identificació de les lesions existents, es reparen si n'hi ha, i finalment, es realitza la plàstia del LCA.

La tunelització tibial presentarà una posició obliqua d'uns 45-55° que sortirà per davant del lligament creuat posterior (LCP) i prop de l'espina medial seguint la línia de la vora posterior de la banya anterior de menisc extern apuntant al còndil femoral extern.

La tunelització femoral es realitza en el punt més isomètric (igual longitud entre dos punts) possible, quedant entre 6 i 7 mm, longitud que dependrà de l'empelt. El túnel ha de travessar la cortical anterior del fèmur i sortirà per la pell fins a una profunditat de 30 - 35 mm, depenent de la longitud de l'empelt.

Es passen els fils del tac ossi femoral per l'orifici de l'agulla de Beath (agulla guia). Es fixa el tac femoral mitjançant un caragol interferencial biodegradable, es realitzen moviments de flexo-extensió del genoll mantenint la tensió de la sutura i es fixa el tac ossi tibial, en extensió de genoll, mitjançant un caragol interferencial.

Un cop realitzat tot aquest procediment, es comprovarà l'estabilitat del genoll, havent de donar una prova de Lachman negativa. Previ al tancament es realitza un rentat exhaustiu de l'articulació [35].

Tècnica amb isquiotibials

La intervenció començarà amb l'extracció dels tendons dels músculs semitendinos i gràcil que s'utilitzaran com empelt per a la plàstia.

Per a l'extracció de l'empelt es realitza una incisió de 3-5 cm medial al tubercle tibial anterior. S'obtenen uns tendons amb la suficient longitud per a crear una plàstia amb quatre fascicles. La preparació d'aquestes plàsties consistirà en la col·locació de fils reabsorbibles en cada un dels seus extrems i se sotmetran a un tensor durant 15-20 minuts per evitar posteriors elongacions.

El túnel tibial s'elabora a partir d'una guia que se situa aproximadament 7 mm anterior a la inserció del LCP. Aquesta guia es gradua aproximadament a uns 55° i es fa un túnel d'un diàmetre adequat al posterior empelt. A través d'aquest túnel tibial, es col·loca la guia que

ajudarà a la realització del túnel femoral que es farà a 2 mm com a màxim de la vora posterior del còndil extern.

Pel que fa a la fixació de l'empelt, es pot fer mitjançant diverses tècniques depenent del tipus de fixació que es vagi a utilitzar.

Un cop conclosa aquesta fixació, es comprova la tensió d'aquest nou lligament i es netegen les zones adjacents. Aquesta última fase és delicada pel risc de lesió de l'implant [36].

- *Rehabilitació*

Fase preoperatoria

Abans de la cirurgia del LCA s'ha d'assegurar al pacient un patró de marxa normal i un rang de moviment mínim d'entre 0° i 90° de flexió de genoll. Aquesta tasca es pot dur a terme mitjançant fisioteràpia i exercicis domiciliaris. Cal tenir en compte que el rang de moviment de la flexió i l'extensió de genoll abans de l'operació és un predictor important de la franja del moviment postoperatori. Alguns exercicis són l'estirament de flexo-extensió de genoll i, l'enfortiment de quàdriceps mitjançant exercicis de cadena cinètica tancada entre 0° i 90° o mitjançant electroestimulació [37].

Un altre aspecte a tenir en compte per millorar el rang de moviment en l'articulació del genoll és la inflamació i el vessament que es genera en la mateixa després del trencament del LCA. A més, en aquesta fase, s'ha d'informar al pacient i gestionar les seves expectatives. El pacient ha de ser conscient dels objectius de la rehabilitació, les seves fases, així com conèixer els exercicis i complir-los perquè la seva recuperació sigui el més satisfactori possible [30].

Fase postoperatoria primerenca

Aquesta fase consisteix en les quatre primeres setmanes després de la cirurgia. Els objectius d'aquesta fase són: minimitzar el dolor i la inflamació, establir un patró de marxa normal reduint l'ús de les crosses, aconseguir 90° de flexió de genoll i l'extensió completa i promoure la correcta funció i control de quàdriceps.

Un estudi preliminar de Boguszewski et al [38] va exposar millores en l'ús del kinesiotape sobre la reducció del dolor de forma lleu, un increment més ràpid en la força i la propiocepció

al genoll afectat. Els pacients que reberen el tractament amb kinesiotape reduïren de forma significativa l'edema comparat amb els pacients que no el reberen.

S'ha demostrat que la càrrega primerenca sobre l'extremitat afectada disminueix el dolor patel·lofemoral després de la cirurgia. Des de la cirurgia, s'ha d'aplicar una fèrula que bloquegi el genoll a 0º per donar estabilitat a l'articulació i poder caminar amb dues crosses amb una càrrega que el pacient toleri. Quan el pacient està en descàrrega, com en sedestació o en decúbit, la fèrula es pot treure. A les 4 setmanes, es pot reduir o treure la fèrula si el pacient mostra una extensió completa i una marxa normal. De la mateixa manera, es retiraran les crosses progressivament quan el pacient tingui una marxa normal i pugui pujar i baixar escales sense dolor ni estabilitat [39].

A més, en aquesta fase s'ha de restablir un rang de moviment i una funció de quàdriceps normal i, per això, es recomana combinar exercicis domiciliaris amb 2-3 visites al fisioterapeuta per setmana. Al cap de quatre setmanes hauríem progressat fins als 120º de flexió de genoll i alguns exercicis poden ser la bicicleta estàtica i la flexió activa de genoll en decúbit supí lliscant el taló per la llitera [39].

Per a la funció de quàdriceps es realitzen exercicis en cadena cinètica tancada (especificats posteriorment) i estimulació elèctrica neuromuscular. És important la mobilització de la ròtula progressiva en aquesta fase per facilitar la mobilitat activa, sobretot si l'operació es realitza amb un autoempelt HTH perquè són més propenses a la hipomobilitat rotular. Si l'autoempelt és d'isquiotibials, les activitats d'enfortiment d'isquiotibials es veuran limitades durant el primer mes [39].

Fase d'enfortiment

Aquesta fase comprèn des de la 4a setmana fins als sis mesos, però pot durar més si és necessari. La fèrula ja ha de ser retirada i la mobilitat de la ròtula i del genoll correcta.

Els guanys de l'enfortiment de la musculatura els marcarà la resposta de la pacient, no ha d'haver-hi augment de la inflamació ni del dolor. El dolor articular després de fer exercicis s'ha de limitar a menys de 6-12 hores després de l'activitat. És molt important la tècnica i que no hi hagi patrons compensatoris.

Com a guia general, es començarà fer els exercicis amb sèries de 10 a 15 repeticions i es progressarà a sèries de 6 a 8 repeticions amb pesos més elevats, augmentant les càrregues progressivament per tenir millors resultats. Al mateix temps és important realitzar un entrenament neuromuscular i cardiovascular en aquesta fase [37,40].

3.1.8 Alta mèdica i esportiva

Per donar l'alta del pacient cal confirmar que el genoll es troba en condicions òptimes per ser sotmès a grans càrregues i diferents moviments durant la seva activitat, siguin de la vida diària o esportiva.

El pacient ha de tenir tot el rang de moviment, sense dolor ni signes inflamatoris, i sense sensació d'inestabilitat funcional durant la pràctica esportiva i activitats de la vida diària a més se li valorarà la laxitud dels lligaments, força màxima, força resistència, proves de salt.

Independentment dels paràmetres del pacient en diferents proves, és important tenir en compte que ha de complir com a mínim entre 6 i 8 mesos després de la cirurgia per a la reintegració normal a les seves activitats esportives, ja que són aquests els períodes en què el nou lligament assoleix nivells adequats de maduració i resisteix la tracció a nivells de força similars al lligament creuat anterior en subjectes sans. Perquè el pacient pugui tornar a competir en esports d'alt risc de patir aquesta lesió, es recomana que el pacient hagi completat dos mesos d'exercicis constants de l'esport en el camp per a la reinserció prèvia a l'alta mèdica per tal d'adaptar-se progressivament als gests esportius i a les altes exigències físiques que impliqui la pràctica d'aquest esport [41].

S'ha de valorar la laxitud dels lligaments comparant amb la cama sana, realitzant els testos anomenats anteriorment, com la prova de Lachman, la prova de calaix anterior o el pivot shift, però es recomana objectivar el desplaçament anterior de la tibia mitjançant el test GNRB® (Genourob, Laval, Francia) (figura 2) que ha demostrat una sensibilitat de 80% i una especificitat del 87% [42]. Amb el GNRB. Daniel i col·laboradors [41] han trobat que el 92% dels subjectes normals sans tenien una diferència de desplaçament anterior de la tibia entre la part dreta i esquerra de 2 mm o menys, per això es recomana que el resultat quirúrgic s'acosti el més a prop possible d'aquests números. Habitualment no s'aconsellen valors superiors. Amb el GNRB s'utilitza una diferència de 2,5 a 3 mm entre la cama operada i la sana.



Figura 2: GNRB

Força màxima de la cuixa, independentment de l'edat o l'activitat desenvolupada per les relacions bilaterals de quàdriceps i avaluades. Els isquiotibials han de ser inferiors al 10% [43,44]. En general, a velocitats isocinètiques més baixes, els isquiotibials produeix el 60% dels valors generats pels quàdriceps [45]. No obstant això, altres estudis suggereixen que la proporció de quàdriceps amb els isquiotibials hauria de ser superior al 66% en els homes i superior al 75% en dones [46].

Força resistència de la cuixa, per avaluar la resistència dels músculs isquiotibials, sinèrgic al lligament creuat anterior, es recomana realitzar la prova del pont d'una sola cama, per mesurar la força resistència, s'utilitza habitualment per predir una ruptura isquiosural [47].

Els resultats de l'avaluació són pobres quan es realitzen menys de 20 repeticions, regularment es recomana realitzar més de 30 repeticions.

Proves de salt, les proves més utilitzades són els salts horitzontals unilaterals, triple, pont creuat i 6 metres [48]. La gran majoria d'estudis van recomanar que no hi hauria d'haver una distància superior a 10 o 15% entre l'extremitat sana i la ferida. Juntament amb això és molt important tenir en compte la qualitat del salt i sobretot observar la fase d'amortització, ja que durant aquesta etapa es troba on es produeixen la gran majoria de lesions [46].

3.2 Entrenament amb oclusió

3.2.1 Què és?

L'Entrenament oclusiu (conegut també com a Entrenament amb restricció de flux sanguini o Kaatsu training) consisteix en la realització de sèries d'exercicis amb càrregues molt lleugeres, (20-50% d'1 repetició màxima (RM)) amb un volum en quant a sèries de 3 a 5 i les repeticions es realitzen fins a la fallada volitiva; tenint com un altre factor favorable, el temps total que empra una sessió d'entrenament amb oclusió que no supera els 15 minuts d'execució, o d'exercici de caràcter aeròbic suau, com caminar, amb una disminució de l'aportació sanguínia al múscul mitjançant l'aplicació d'una pressió sobre la musculatura de la part proximal de l'extremitat. Aquesta pressió s'aplica mitjançant un “faixa” per la qual passa un maneguet que s'infla prou com per a reduir el retorn venós però, permetent el flux arterial. Mitjançant aquest mètode s'obtenen beneficis pel que fa a força i massa muscular similars als produïts per l'entrenament amb càrregues submàximes [49].

Aquest tipus d'entrenament va ser patentat i descrit per l'investigador japonès Yoshiaki Sato durant els anys 70 i 80 del segle XX. Ell, un jove aficionat a la musculació va observar que la sensació que tenia a les cames després d'estar assegut sobre elles durant cert temps en les cerimònies budistes era similar a la que tenia després d'un entrenament de força, de manera que va començar a investigar l'efecte de l'oclusió a la musculatura. Després d'un accident esquiant en el qual es va fracturar els dos turmells i va sofrir danys en el seu genoll dret, va decidir aplicar aquest tipus d'entrenament sobre si mateix. Es va recuperar en un temps rècord i no només havia aconseguit evitar l'atròfia de la musculatura típica de les immobilitzacions, sinó que va aconseguir hipertrofiar aquesta musculatura [50].

3.2.2 Tipus d'oclusió

Existeixen dues maneres de realitzar aquesta restricció sanguínia:

Les que es pot controlar la pressió amb la qual es realitza l'oclusió, aquest control de la pressió es realitza amb un manòmetre; es mesura en mil·límetres de mercuri (mmHg) amb pressions

que oscil·len entre els 50 i més de 200mmHg. D'aquests n'hi ha de dos tipus, els manuals i els elèctrics que mitjançant un software mantenen la mateixa pressió durant tot l'exercici [49]. Com per exemple el sistema kaatsu Master 2.0 (Figura 3) Mitjançant aquest dispositiu, es pot realitzar una oclusió parcial del flux sanguini de manera segura i individualitzada, mitjançant un braçalec compressiu que es col·locarà en el terç proximal de totes dues cames. La distància des del pol superior de la ròtula al braçalec serà mesura en la primera sessió per a assegurar que sempre es col·locarà en el mateix lloc durant tota la intervenció. El braçalec serà regulat fins a produir una oclusió d'un 20% respecte a l'oclusió total de l'extremitat, que s'ha demostrat que és suficient per a aconseguir els beneficis de l'oclusió, i es mantindrà inflat durant cada exercici (incloent-hi descansos entre sèries i repeticions), desinflat-se en els 3 minuts de descans entre exercicis. Se seleccionarà sempre el braçalec més adequat per a cada pacient d'entre les opcions disponibles, i s'utilitzarà el mateix aparell per a tots els mesuraments.



Figura 3: Kaatsu master 2.0

Per altra banda existeix una altra manera de practicar l'oclusió, que seria realitzant un torniquet a la part proximal de l'extremitat igual, però en aquest cas no es controla la pressió que es realitza i per tant si aquesta és excessiva podríem crear danys als teixits pròxims. Aquest torniquet es pot portar a terme amb bandes elàstiques, cintes de velcro i gomes pneumàtiques [51].

Protocol

Encara que no existeix un protocol estandarditzat d'entrenament amb restricció de flux sanguini, les intervencions solen comptar amb aproximadament 75 repeticions per exercici, sent la distribució de 4 sèries amb una primera sèrie de 30 repeticions i les 3 següents de 15 la més utilitzada en estudis previs [52]. A més, els exercicis es realitzaran amb càrregues baixes, a partir del 20% de la RM i la càrrega anirà augmentant de manera progressiva. Els tres primers dies treballaran a un 20% de la RM, els dos dies següents a un 25%, el sisè i setè a un 30% de la RM i els dos últims a un 35% d'aquesta. El descans aproximadament serà de 30/60 segons de recuperació entre sèries, 3 minuts de recuperació entre exercicis i 2/3 segons per repetició.

En anteriors estudis sobre l'entrenament amb oclusió sanguínia en diferents patologies, s'ha observat que, per aconseguir uns guanys en hipertròfia significatius, cal que les intervencions tinguin almenys tres setmanes de durada [52]. D'altra banda, cal que les intervencions tinguin un augment de les càrregues progressiu, i tinguin una freqüència d'entre 2 i 3 sessions setmanals [53].

3.2.3 Mecanisme fisiològic

○ *Hemodinàmica*

Pel que fa a les respostes hemodinàmiques, l'oclusió d'una part de la sang venosa fa que el volum sistòlic disminueixi i que s'augmenti la freqüència cardíaca i la tensió arterial per intentar normalitzar la despesa cardíaca [54,55], la qual cosa provoca un augment en la demanda d'oxigen del miocardi [56]. Si comparem aquest entrenament amb l'entrenament lleuger sense restricció de flux sanguini i l'entrenament moderat, hi ha majors valors de tensió arterial sistòlica, diastòlica i ritme cardíac [57,58].

No obstant això, aquests increments hemodinàmics es produeixen durant i immediatament després de l'exercici, però no són respostes que es mantinguin en el temps [58]. A més, aquests increments no són significants si la restricció es realitza de forma intermitent i són menors que els observats en l'entrenament amb càrregues altes [57].

L'entrenament oclusiu augmenta l'activitat nerviosa tant simpàtica com parasimpàtica a nivell cardíac [56]. Es produeix un increment del reflex vasoconstrictor, el qual porta a l'augment de les respostes hemodinàmiques, a causa de l'estimulació dels barorreceptors [56,57].

3.2.4 Endocrí

La principal resposta a nivell hormonal que es produeix davant l'entrenament oclusiu és l'augment de l'hormona del creixement [55,56,59,60-63], obtenint valors superiors als obtinguts en l'entrenament amb càrregues altes [54,62]. Fins i tot s'han observat valors aproximadament 290 vegades majors que els valors inicials [55,56,62].

No obstant això, amb aquest mètode d'entrenament s'ha vist que és inefectiu quant a la modificació dels nivells de testosterona [54,55].

3.2.5 Neuromuscular

Segons el principi de la grandària, en condicions normals, les fibres musculars lentes o de tipus I són les que primer actuen durant l'entrenament de baixa intensitat, sent necessàries altes intensitats per al reclutament de les fibres ràpides o de tipus II [64]. No obstant això, en l'entrenament amb restricció de flux sanguini s'observa un augment en el reclutament d'aquestes fibres i una major activitat muscular electromiogràficament [54,55,62,65]. Aquest reclutament és similar al produït en l'entrenament amb altes càrregues i molt major que el que es produeix amb càrregues lleugeres sense oclusió [65].

Aquest augment del reclutament de fibres es produeix a causa de l'estimulació de les fibres aferents del grup III i IV. Això porta a una hiperexcitabilitat corticomotora que produeix unes adaptacions neuronals similars a les de l'entrenament d'alta intensitat si és realitzat de forma programada al llarg del temps [60,65,66]. Per tant amb menys temps s'aconsegueixen els mateixos resultats.

3.2.6 Metabòlica

L'entrenament amb restricció de flux sanguini produeix un augment temporal de la mida de les cèl·lules. A causa de l'oclusió, es produeix una acumulació de metabòlits que crea un gradient de pressió que afavoreix la perfusió cel·lular, produint un augment del seu volum. Aquest augment de l'espai intracel·lular induït de manera crònica amenaça l'estructura de la membrana, la qual cosa inicia les respostes anabòliques d'adaptació de la cèl·lula per a reforçar aquesta estructura [55,60,66].

De manera aguda, en l'entrenament oclusiu hi ha una disminució dels nivells de fosfocreatina i ATP en comparació a l'entrenament sense oclusió. En canvi, com a adaptació crònica s'han observat augments del glucogen intramuscular després de seguir un programa d'aquest tipus d'entrenament [55,61,67].

No obstant això, malgrat l'augment de l'estrès metabòlic produït per la restricció del flux sanguini, marcadors directes de dany muscular com la interleucina 6 (IL-6) [60] o la creatinquinasa (CK) [54] són inferiors en comparació als produïts en entrenaments amb càrregues altes. També s'ha observat que, tant en la CK com en marcadors de degradació oxidativa de la membrana lipídica, aconseguixen nivells similars als que es produeixen en l'entrenament de baixa intensitat sense restricció de flux [55,67,68].

3.2.7 Hipertròfia

La falta d'un estímul d'intensitat suficient sobre el múscul esquelètic condueixen a una progressiva atròfia, la qual cosa disminueix la seva capacitat oxidativa, la seva capacitat de contracció i la compliança muscular. També té impacte sobre el sistema immune, la sensibilitat a la insulina i disminueix progressivament la capacitat de realitzar més activitat física [49]. Això condueix a una espiral negativa en la qual la falta d'activitat produeix atròfia i aquesta atròfia deriva en menor activitat muscular, i així successivament.

En l'entrenament de força s'ha demostrat que per a aconseguir millores quant a hipertròfia muscular són necessàries intensitats d'almenys un 60%-80% d'1 RM [54,56,66].

Concretament, per a l'estimulació de les fibres musculars de tipus II, les quals tenen una major grandària i són més sensibles a la hipertròfia, es proposen entrenaments amb volums moderats (3-4 sèries de 8-12 repeticions) i càrregues altes de 70-85% d'1 RM. No obstant això, l'entrenament oclusiu ha demostrat ser tan efectiu com l'entrenament amb altes càrregues utilitzant càrregues de tan sols el 20% d'1 RM [54,60,64].

Encara que la intensitat de les càrregues sigui molt menor, la restricció de flux utilitzada en aquest entrenament produeix un augment en el reclutament de les fibres musculars de tipus II per a compensar la situació d'hipòxia localitzada mitjançant l'increment del metabolisme anaeròbic làctic i poder fer front a la resíntesi d'ATP [54]. Aquest augment en el reclutament de fibres musculars incrementa l'estrès mecànic i l'acumulació de metabòlits, la qual cosa augmenta la resposta endocrina. Aquesta resposta endocrina és similar a la produïda en l'entrenament d'alta intensitat i molt major a la produïda en l'entrenament amb càrregues baixes sense oclusió, produint adaptacions en l'augment de massa muscular [56,60].

Com s'ha dit abans el sistema endocrí respon davant l'oclusió principalment mitjançant l'augment dels nivells de l'hormona de creixement. Aquesta hormona indueix el creixement muscular tant directament com indirectament a través de l'IGF-1, incrementant la síntesi proteica i l'activació de cèl·lules satèl·lit que provoquen la hipertròfia de les miofibril·les. Aquest augment de la secreció de la hipòfisi de l'hormona de creixement ve estimulat per la disminució del pH que provoca l'augment dels nivells de lactat sanguini, plasmàtic i muscular [54,56,66].

Aquest augment en els nivells de lactat està també relacionat amb l'augment del factor de creixement de l'endoteli vascular, un important modulador de la vasculogènesi i l'angiogènesi, essencial per al procés d'hipertròfia [56].

Un altre dels punts clau en l'augment de la massa muscular és la inflor cel·lular, el qual produeix un augment del volum cel·lular. Aquest augment del volum produeix adaptacions cel·lulars en la membrana, a més d'induir la síntesi proteica i reduir la proteòlisi mitjançant la proliferació i fusió de cèl·lules satèl·lit [55,59,60].

Tots aquests augments en els valors de factors relacionats amb l'augment de massa muscular vénen a més acompanyats de baixos valors en marcadors de mal muscular com la

creatinquina o la interleucina-6 [54,60], la qual cosa demostra uns nivells menors de degradació proteica durant l'exercici, contribuint també al balanç positiu de síntesi proteica.

D'altra banda, factors que afecten negativament el procés de regeneració muscular també es veuen afectats. Els valors de la miostatina, la qual indueix la inhibició de la diferenciació dels mio blasts i els miotubs, es veuen reduïts a causa de l'entrenament oclusiu. Marcadors catabòlics com l'Atrogina-1 o la MuRF-1 també disminueixen els seus valors, igual que la resposta del cortisol [54,59,60].

Hipertrofia muscular en humans produïda per l'entrenament oclusiu	
Marcador	Efecte
Lactat	↑↔
Hormona del creixement	↑
Quinasa 1 Ribosoma S6 (S6K1)	↑
Noradrenalina	↑
Factor de creixement tipus insulínic 1 (IGF-1)	↑
Proteïna muscular	↑
Factor de diferenciació miogenètica	↑
Quinasa inhibidora 1A	↑
Miostatina (GDF-8)	↓

Taula 2: Resum dels canvis produïts a la hipertrofia deguts a l'entrenament oclusiu

3.2.8 Força muscular

A l'entrenament de força, la millora dels seus valors es produeix a causa d'adaptacions neuronals, hipertrofia muscular o una combinació de tots dos. No obstant això, els mecanismes pels quals l'entrenament oclusiu produeix millores en els valors relacionats amb la força no són clars, encara que la principal teoria és que es deuen a l'augment de massa muscular [56,69,70].

En la revisió de Slys J. et al. [49] analitzada en l'apartat sobre hipertrofia, també es van obtenir valors quant a les mesures de força muscular analitzant diferents variables. Dels 72 subjectes analitzats en entrenament aeròbic es van obtenir les següents dades: els que ho van realitzar amb restricció de flux van obtenir un augment mitjà de 0,4 Nm respecte al grup control; els que van entrenar més de sis setmanes van millorar una mitjana de 0,6 Nm, pels 0,2 Nm dels quals van entrenar menys de sis setmanes, en comparació amb el grup control; i respecte a la intensitat, les millores mitjanes per a un ritme de 70 m/min van ser d'1,9 Nm enfront dels 0,2

Nm per a intensitats menors. En els 328 subjectes que van realitzar entrenaments amb càrregues es van observar els següents valors: els que van dur a terme entrenament amb oclusió van tenir una millora 0,3 kg respecte al grup control; els que van entrenar dos dies setmanals van tenir una millora de 0,4 kg enfront dels 0,3 kg dels quals ho van fer tres dies; i també es van observar majors valors en càrregues de 30% d'1 RM enfront del 20%. Aquestes dades indiquen que intensitats de 20-30% d'1 RM en entrenaments amb càrregues o 70 m/min en exercici aeròbic, les quals no són efectives per a produir millores quant als valors de força en condicions normals, sí que són efectives si s'apliquen amb restricció de flux sanguini.

En la revisió de Loenneke JP. et al. [70] es van observar diferències en els guanys de força tenint en compte diferents variables de l'entrenament: en subjectes desentrenats va tenir un efecte sobre la força muscular de l'1,38 per un 0,37 en subjectes actius; quant a la densitat de l'entrenament, entrenant 2-3 dies setmanals es van obtenir guanys de l'1,25 enfront del 0,53 en 4-5 dies i al 0,29 en 6-7 dies; observant el volum total de l'entrenament es van trobar guanys del 0,27 entrenant menys de quatre setmanes, mentre que en deu setmanes van ser de l'1,38; pel que fa al tipus d'exercici, l'isotònic va millorar la força en major mesura que l'aeròbic lleuger (caminar) en un 1,08 enfront d'un 0,42, a més de trobar-se les mateixes diferències analitzant la intensitat del mateix si es comparen càrregues de 15-30% enfront d'un ritme de 50-60 m/min; i finalment analitzant el volum d'una sessió d'entrenament, un total de 60-70 repeticions van millorar els valors de força en un 1,37, mentre que 14-20 minuts caminant ho van fer en un 0,39. Totes aquestes variables també van ser mesures en subjectes realitzant entrenament de baixa intensitat sense restricció de flux, obtenint-se millores mínimes, nul·les o fins i tot negatives. Analitzant aquestes dades es confirma que el treball amb càrregues lleugeres no produeix un estímul adequat quant a la millora dels valors de força, però aquest mateix tipus de treball combinat amb la restricció de flux sí que produeix millores comparables als valors obtinguts en l'entrenament d'alta intensitat. En l'entrenament amb càrregues altes, les millores en la força es produeixen inicialment de manera ràpida durant les dues primeres setmanes, produint-se més tard les adaptacions quant a hipertròfia. No obstant això, en l'entrenament oclusiu es va observar que els guanys en els valors de força no eren significatives fins a la desena setmana. Això podria explicar la teoria que en l'oclusió les adaptacions neuronals es produeixen més tard i que inicialment el guany de força es produeix a causa de la hipertròfia. Les millores en els valors de força van ser majors en els

grups que entrenaven 2-3 dies a la setmana enfront dels quals entrenaven més, possiblement a causa del sobreentrenament. I també va ser més efectiu l'entrenament amb càrregues respecte a l'aeròbic, pel fet que la intensitat de l'exercici és major i es produeix una major acumulació de metabòlits.

Mesura muscular i de força en humans	
Marcador	Efecte
Una repetició màxima	↑↓↔
Força isomètrica	↑
Força isocinètica	↑
Torque isomètric	↑
Torque isocinètic	↑
Resistència muscular	↑
Potenciació post activació	↑
Electromiografia	↑
Àrea de secció creuada	↑

Taula 3: Resum dels canvis produïts en la mesura i la força muscular a causa de l'entrenament oclusiu

3.2.9 Efectes adversos

Com hem observat l'entrenament oclusiu sembla aportar molts beneficis quant a adaptacions musculars es refereix, a més d'oferir la seguretat que suposa l'entrenament amb càrregues lleugeres. No obstant això, és de suposar que el fet de realitzar una restricció del flux sanguini normal potser pot portar implícit algun tipus de risc.

Nakajima T. et al [71] van dur a terme una revisió per a avaluar els efectes adversos derivats de l'aplicació de l'entrenament oclusiu en diferents hospitals, centres clínics i gimnasos del Japó. De les 12.642 persones que van realitzar aquest tipus d'entrenament, els efectes adversos que més destacats van ser l'hemorràgia subcutània i l'entumiment de l'extremitat, en un 13,1% i un 1,297% respectivament. També es van observar de forma aïllada alguns casos de mareig (0,277%), trombosi venosa (0,55%), embòlia pulmonar (0,008%) o rabdomiòlisi (0,008%). No obstant això, aquests problemes possiblement eren deguts a un excés de pressió o d'intensitat aplicada.

Ja que a nivell d'hipertròfia muscular i guanys de força s'obtenen millores similars, s'ha establert una comparació entre l'entrenament oclusiu i l'entrenament d'alta intensitat sota condicions normals de flux sanguini quant a les respostes hemodinàmiques per a determinar la seva seguretat a nivell vascular, les quals es resumeixen en la figura següent [72].

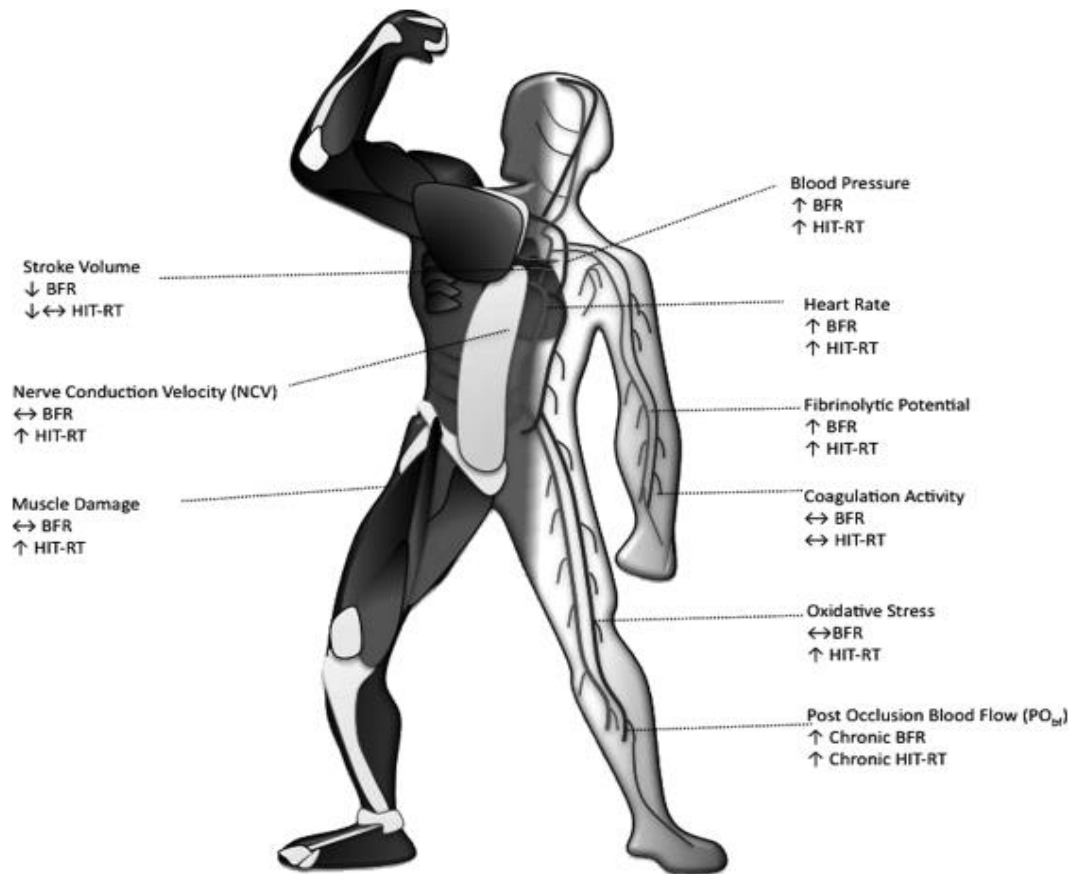


Figura 4: Respostes hemodinàmiques de l'entrenament oclusiu i l'entrenament amb càrregues altes

Respecte a la pressió arterial sistòlica, encara que tots dos mètodes augmenten els valors en comparació amb l'exercici de baixa intensitat sense restricció de flux sanguini, la resposta és de menor intensitat en l'entrenament amb oclusió que en l'entrenament d'alta intensitat. De la mateixa forma ocorre amb el ritme cardíac i amb la càrrega de treball del miocardi [73]. D'aquesta forma es pot comprovar que l'entrenament oclusiu té els mateixos efectes o fins i tot de menor intensitat que l'entrenament amb càrregues altes, per la qual cosa a nivell vascular es pot definir com un mètode més segur.

A més, s'ha vist que l'oclusió no altera els marcadors de coagulació, igual que la conducció nerviosa no es veu modificada [54,55,72]. De la mateixa forma, s'ha vist que els marcadors de dany muscular són inferiors als obtinguts en entrenament d'alta intensitat [54,60,74], sent similars als produïts en entrenament amb càrregues lleugeres sense oclusió [55,67,68,74]. Tampoc hi ha decrements prolongats en la funció muscular i les classificacions de dolor muscular són similars a les obtingudes en l'entrenament sense oclusió [74]. Per tant, es pot concloure que l'entrenament amb oclusió és un mètode segur.

Cal destacar també que en l'entrenament oclusiu no es produeix l'augment de la rigidesa i disminució de la longitud del tendó que es produeix en l'entrenament d'alta intensitat [75], per la qual cosa podria representar una major seguretat a nivell tendinós. No obstant això, també és de suposar que el fet que les adaptacions que es produeixen a nivell muscular no es produeixin de la mateixa forma a nivell tendinós pugui resultar perillós, ja que pot derivar en patologies en aquests teixits a causa de la descompensació entre la capacitat de generar tensió del múscul i la capacitat del tendó per a suportar-la. En aquest cas seria necessària una major recerca sobre aquest tema per a confirmar la seguretat de l'entrenament amb restricció de flux sanguini a nivell tendinós.

Marcadors de dany muscular	
Marcador	Efecte
Creatina quinasa	↔
Peroxidació de lípids	↔
Mioglobina	↔

Taula 4: Resum dels marcadors de dany musculars produïts per l'entrenament oclusiu

3.2.10 Contraindicacions

Les contraindicacions inclouen antecedents de trombosi venosa profunda, i l'embaràs fonamentalment, i altres factors com poden ser varius exagerades, aquestes podrien provocar una trombosi. Aquesta visió pot ser beneficiós per a la identificació de les persones en risc de complicacions perjudicials durant l'entrenament oclusiu [76].

No obstant això, quan s'utilitza en un entorn controlat per personal capacitada i amb experiència, l'entrenament oclusiu sembla proporcionar una alternativa d'entrenament segur per a la majoria les persones independentment de la seva edat i estat de la forma [72].

En canvi, no s'ha trobat cap treball que examini el risc d'alliberament de coàguls ja formats a conseqüència de l'elevada pressió sanguínia durant la reperfusió [72].

3.3 Justificació

El trencament del LCA és una de les lesions més comunes en els esports de pista, representant un 15-30% del tota de les lesions esportives. Tenint en compte que és una lesió de llarga

durada, on es perd a l'esportista un mínim de 8 mesos si es vol recuperar bé la funcionalitat del genoll i evitar possibles recaigudes, es pot considerar com una lesió a tenir en compte a l'hora de realitzar una bona recuperació [77].

Tot i que aquesta lesió és una de les més freqüents en el món esportiu, el procés de rehabilitació presenta molts problemes a llarg termini, més del 27% dels LCA intervinguts presenten recidiva passat els anys [78]. Una de les causes d'aquestes recidives és la presència d'atròfia muscular i falta de força a la musculatura extensora [79].

Segons Williams et al. [80], l'atròfia del quàdriceps, així com la falta d'activació d'aquest mateix múscul, suposen fins a un 62% de la variació de força en quàdriceps dels pacients afectats per ruptura del LCA amb problemes d'estabilitat [80]. D'aquesta manera, es conclou que l'atròfia muscular té un rol important en la pèrdua de força del quàdriceps. Això ens indica que l'obtenció de massa muscular i una major activació neural suposen dos dels aspectes clau en la rehabilitació del LCA.

D'aquí la importància d'establir un tractament/entrenament preintervenció quirúrgica perquè la pèrdua de massa magra de la musculatura extensora del genoll no sigui tan excessiva i començar la rehabilitació amb un millor estat de forma que si hagués parat per complet.

Tots els estudis publicats fan referència a intervencions postintervenció d'oclusió per recuperar una lesió de LCA fet que ens porta a fer un nou plantejament s'obre l'oclusió i pal·liar al màxim la reducció d'aquesta pèrdua muscular, per aquest motiu hem pensat que el millor seria realitzar un protocol d'entrenament amb oclusió preintervenció, ja que amb càrregues molt lleugeres, 20-50% d'1 RM es pot aconseguir resultats de guanys de força i hipertròfia semblants a si es treballa prop del 80-90% d'1 RM [49], i així arribar a l'operació sense una pèrdua de massa muscular tan gran.

4. Objectius i hipòtesis

Objectiu general

- Determinar l'efectivitat d'un entrenament d'oclusió preoperatori de 3 setmanes en la musculatura flexo-extensora de genoll per reduir el temps de recuperació postintervenció de lligament creuat anterior en esportistes d'esports intermitents d'entre 18 i 40 anys.

Objectius específics

- Analitzar l'efectivitat d'un entrenament d'oclusió preoperatori sobre l'atròfia de la musculatura flexo-extensora de genoll en esportistes que hagin de ser intervinguts del lligament creuat anterior en un període mínim de tres setmanes.
- Analitzar l'efectivitat d'un entrenament d'oclusió preoperatori sobre el rang de moviment del genoll en esportistes que hagin de ser intervinguts del lligament creuat anterior en un període mínim de tres setmanes.
- Analitzar l'efectivitat d'un entrenament d'oclusió preoperatori sobre la reducció del dolor en esportistes que hagin de ser intervinguts del lligament creuat anterior en un període mínim de tres setmanes.

Hipòtesis

Aplicant una intervenció convencional de força més entrenament oclusiu l'esportista podrà tornar abans a la competició, mentre que només amb l'entrenament de força tindrà una recuperació més ràpida que el grup control.

L'entrenament oclusiu augmentarà la hipertròfia i la força de la musculatura flexora i extensora de la cama abans de l'operació, això farà que els temps de recuperació es vegin escurçats enfront del tractament convencional de força i el grup control i tant el dolor com el rang de moviment també millorin envers els altres grups.

5. Metodologia

5.1 Disseny

Es durà a terme un estudi de tipus experimental, el disseny del qual serà el d'un protocol d'estudi pilot d'un assaig clínic aleatoritzat. Centrat en l'àmbit de la salut i l'optimització de la tornada al joc esportiu. Es portarà a terme un programa (explicat més avall) de tres setmanes amb 3 intervencions a la setmana.

Els participants, de manera aleatòria, seran assignats a un programa d'exercici personalitzat i supervisat per fisioterapeutes i especialistes en rendiment esportiu que dirigiran les sessions dels tres grups d'intervenció:

- El primer grup seguint un programa d'entrenament preoperatori de força i entrenament oclusiu (INTo).
- El segon grup, programa d'entrenament de força preoperatori (INTe), que realitzarà la mateixa intervenció que el primer sense l'oclusió.
- El tercer grup, el grup control (CON), únicament realitzarà les valoracions.

S'emprarà la tècnica de cec simple, tant del que fa l'aleatorització com del que analitza les dades, ni els subjectes d'estudi coneixeran el tipus de tractament que reben, ni els investigadors que analitzin els resultats ho sabran, a més es realitzarà un emmascament de les dades dels participants perquè els investigadors que analitzin els resultats no coneguin les condicions a les quals han estat sotmeses aquestes, evitant així biaixos en la interpretació dels resultats [81].

5.2 Subjectes d'estudi

La població diana d'aquest estudi comprendrà tots els pacients esportistes d'entre 18 i 40 anys que participin en esports de pista intermitents i que pateixin la lesió i tinguin un temps entre el diagnòstic i la intervenció quirúrgica de mínim 3 setmanes. La població accessible seran els esportistes de 18 a 40 anys de la comunitat autònoma de Catalunya. La captació d'aquests pacients es realitzarà mitjançant contactes amb les principals mútues d'atenció d'esportistes a Catalunya, i amb les federacions esportives que vulguin col·laborar amb l'estudi. Quan

s'identifiqui un dels potencials pacients a les clíniques o federacions esmentades, l'equip d'investigació es posarà en contacte amb el subjecte per tal d'informar-lo i veure si està interessat. Es començarà a seleccionar subjectes per l'estudi a partir de l'inici del mes d'octubre del 2020 i durarà aproximadament dos mesos fins al 27 de novembre del mateix any, a partir d'aquí es crearan directament els 3 grups de manera aleatòria (com es pot veure al calendari (Annex 1)).

CÀLCUL DE LA MOSTRA

Al tractar-se d'un estudi pilot i no haver-hi estudis similars per agafar una referència de la mostra necessària per a l'estudi, s'establirà uns valors de $n=10-15$ persones per cada un dels tres grups, ja que és el valor mínim per als estudis pilot.

CRITERIS ELEGIBILITAT

Per a poder participar en l'estudi, els participants hauran de signar un consentiment informat i complir els següents criteris d'elegibilitat:

Criteris d'inclusió

- Diagnòstic de trencament complet del LCA.
- Edat compresa entre 18 i 40 anys.
- Tractament mitjançant intervenció quirúrgica prevista per un període posterior a 3 setmanes de començar a enregistrar dades.
- Practicants d'un esport intermitent.
- Comprensió del llenguatge escrit i oral del català o castellà.

Criteris d'exclusió

- Trencament del tendó quadricipital.
- Lesió associada (tendinopatia, artrosis).
- Patologies o afectacions que contraindiquin l'aplicació de l'entrenament oclusiu.

Afectacions neurològiques.

Aleatorització de la mostra

La distribució dels participants en els grups es realitzarà de manera aleatòria mitjançant el programa informàtic "SPSS" (Statistical Package for the Social Sciences) versió per Windows, la qual cosa ens assegura que els grups siguin homogenis a l'inici de l'estudi. Es realitzarà mitjançant aleatorització equilibrada, per tant a l'hora de dividir la mostra en els diferents grups, com a l'hora d'assignar la condició experimental. La persona que realitza l'aleatorització serà cegada per evitar un possible biax.

5.3 Variables d'estudi

5.3.1 Variables dependents

Força

Força mitjana màxima isocinètica concèntrica de la flexió i extensió de genoll a 60° i a 90°. El mesurament d'aquesta variable es realitzarà utilitzant la màquina isocinètica Baltimore Therapeutic Equipment Primus SR (BTE Primus SR) que va tenir una fiabilitat de ($r = 0,97$ a $0,98$) i una validació de ($r = 0,95$ a $0,96$) [82] (Figura 5) Per a recollir la variable, el pacient realitzarà un escalfament de 10 repeticions a 120° i posteriorment realitzarà 3 repeticions a 60 i 90°, entre les quals s'obtindrà la mitjana màxima.

- Range of Movement (ROM) de la flexió i extensió de genoll: Graus com a unitat de mesura. El mesurament d'aquesta variable es realitzarà utilitzant el BTE Primus SR, amb el qual cada pacient realitzarà 5 repeticions del moviment per a escalfar i posteriorment se li mesurarà el ROM d'una repetició. Es calcularà la variable diferència del ROM restant el valor posttractament al del valor pretractament recollit [83].



Figura 5: BTE Primus SR

Dolor: El dolor s'analitzarà a través de l'Escala Analògica Visual (EVA) (figura 6) en la qual el pacient ens indicarà amb un número de l'1 al 10 el seu grau de dolor. Es calcularà la variable diferència del dolor restant el valor postractament al del valor pretractament recollit.

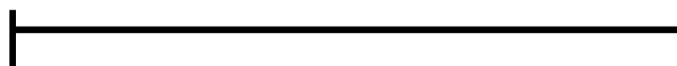


Figura 6: Escala EVA

5.3.2 Variables independents:

- **Gènere (home o dona):** aquesta variable es tindrà en compte la prevalença de dones davant els homes de lesió de LCA. Es tracta d'una variable qualitativa, nominal, dicotòmica i antropomètrica pel fet que no estableix categories de nivell entre ella i només existeixen dos possibles resultats. Una vegada recollits totes les dades s'analitzarà si aquesta variable influeix o no en els resultats de l'estudi.
- **Dominància (esquerra o dreta):** es registrarà la dominància de l'extremitat inferior, ja que normalment la cama dominant està més musculada, variable qualitativa, nominal i dicotòmica, pel fet que no estableix categories de nivell entre ella i només existeixen dos possibles resultats. Una vegada recollits totes les dades s'analitzarà si aquesta variable influeix o no en els resultats de l'estudi.

	VARIABLE	TIPUS	UNITAT DE MEDICIÓ	MÈTODE DE MESURAMENT
VD	Força mitjana màxima isocinètica concèntrica de la flexió i extensió de genoll a 60°/90°	Quantitativa continua	Newton	BTE Primus SR
VD	ROM articular de la flexió i extensió de genoll	Quantitativa continua	Graus	BTE Primus SR
VD	Dolor	Quantitativa discreta	Puntuació: 0 millor – 10 pitjor	Escala Visual Analògica (EVA)
VI	Genere	Qualitativa dicotòmica		1 = Masculí 2 = Femení
VI	Dominancia	Qualitativa dicotòmica		1 = Esquerra 2 = Dreta

Taula 5: Classificació de variables. Font: elaboració pròpia.

5.4 Maneig de la informació/recollida de dades

Abans d'explicar el model de recollida de dades, hem d'especificar que durant tota l'elaboració del projecte, les dades personals de les participants estaran protegits i es respectarà la intimitat i la privacitat d'aquests.

Des del primer dia en què els participants acudeixin al centre de referència per a explicar-los el funcionament i realitzar la primera valoració, se'ls assignarà un número d'identificació, de manera que les seves dades personals no apareixeran en cap moment. Existirà una fulla amb el número de cada participant en la qual apareixeran els resultats de totes les valoracions realitzades al llarg del projecte.

Aquesta fulla estarà realitzada de manera que diferents investigadors puguin entendre-la i utilitzar-la de la mateixa forma, per a evitar confusions.

L'encarregat de realitzar les valoracions serà un fisioterapeuta que també s'encarregarà de passar aquests fulls de paper a format Excel, perquè després puguin ser exportats al programa estadístic SPSS i ser analitzats. Perquè el fisioterapeuta estigui correctament cegat, no coneixerà la identitat dels participants, ja que estaran identificats per un número i per tant no sabran si pertanyen al grup control o a un dels dos grups experimentals.

5.5 Generalització i aplicabilitat

Validesa externa

Si la nostra hipòtesi fos acceptada, i l'entrenament amb restricció de flux sanguini preintervenció quirúrgica, reduís el temps per la tornada a l'esport abans que els altres dos grups (INTE i CON) aportàrem evidència per donar suport al seu ús clínic en la recuperació d'aquests tipus de lesions.

Una tendència cap als resultats positius en un futur ens indicaria que estem davant una tècnica que pot aportar millores significatives en la reducció de l'atròfia muscular en pacients intervinguts del LCA. Això augmentaria l'aplicabilitat de la tècnica i obriria noves portes a investigacions que ens aportessin informació sobre l'efectivitat potencial amb diferents poblacions.

Per tal d'aconseguir aquesta aplicabilitat, és essencial la formació adequada dels professionals docents en l'àmbit universitari del món de la fisioteràpia, en la recuperació amb restricció de flux sanguini, ja que com s'ha argumentat al llarg del treball aquesta tècnica aporta uns beneficis molt grans amb càrregues baixes, això seria interessant perquè els esportistes professionals i els grans clubs apostessin per aquests dispositius i disminuïssin el temps de recuperació postintervenció. Aquesta millora del nivell docent permetria un ensenyament a les noves generacions basat en l'evidència i el raonament clínic, formant futurs fisioterapeutes crítics i amb eines de valor per enfrontar-se als canvis que s'apropen.

5.6 Anàlisi estadística

Pel que fa als resultats i les variables de l'estudi, seran analitzats i plasmats mitjançant el programari d'analítica predictiva IBM SPSS Statistics versió 21.

Grandària de la mostra

Al ser un protocol d'estudi pilot d'un assaig clínic aleatoritzat, al no haver-hi estudis similars dels quals agafar una mostra, s'establirà un valor de $n=10/15$ per cada un dels 3 grups. Que és la quantitat mínima per estudis pilot.

5.7 Pla d'intervenció

La durada total de l'estudi és de dos anys. Inicialment, hi haurà un període de sis mesos durant el qual es redactarà el projecte, s'aconseguiran els recursos humans i materials i finalment la mostra per poder dur a terme el projecte.

La intervenció es durà a terme al gimnàs de rehabilitació de l'Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona, a la qual es portarà el material necessari per a l'estudi que més endavant es detallarà, i serà conduïda per fisioterapeutes prèviament formats per a l'estudi.

Les sessions es realitzaran el dilluns, dimecres i divendres de cada setmana el grup amb oclusió les realitzarà al matí i el grup sense oclusió les realitzarà els mateixos dies a la tarda.

Grup INTO: Aquest grup estarà dividit en dos grups similars, que treballaran de manera seguida al matí el primer dels dos grups començarà a les 10 fins a les 11 i just després començarà el segon grup. Aquests subjectes realitzaran els exercicis de Leg Press, Knee bends

i Knee Extensió amb un protocol individualitzat de BFR que es durà a terme amb un dispositiu KAATSU Màster 2.0. de la manera que s'ha exposat anteriorment a l'explicació d'aquest dispositiu.

Grup INTe: Per altra banda el grup sense oclusió seguirà la mateixa manera de funcionar, també es dividiran en dos grups similars que el grup INTO però anirà a les tardes, el primer grup farà de 17 a 18 h i el següent començarà quan acabi el primer. Aquest grup treballarà amb càrregues d'entre el 70-80% 1 RM que pugui suportar cada subjecte en aquell moment.

Segons aquests preceptes, es plantejarà una intervenció en la qual els dos grups INTO i INTe, realitzaran el mateix programa d'entrenament i el grup control no realitzarà cap tractament.

La sessió tindrà el següent format pels dos grups INTO i INTe, escalfament aeròbic, un part central d'exercicis de força, i un bloc final d'exercicis d'estiraments guiats simplement com a part de tornada a la calma, la sessió tindrà una durada aproximada d'una hora.

L'escalfament es realitzarà sempre mitjançant 15 minuts de caminada a un ritme suau a la cinta amb una pendent de 0,5%, i els estiraments seran dels principals grups musculars del tren inferior, realitzant 2 repeticions de 15" per cada grup muscular. Quant als exercicis de força, es realitzaran els exercicis de press de cames bilateral en sedestació (leg press), flexió de genoll en sedestació (knee bends) i extensió de genolls en sedestació (knee extension), tots dos en màquines específiques, i es realitzaran amb un augment progressiu de les càrregues (taula 6).

Setmana	Sessió	%RM	Sèries x Reps BFR
1	1	20	(30,15,15,15)
	2	20	
	3	20	
2	4	25	
	5	25	
	6	30	
3	7	30	
	8	35	
	9	35	

Taula 6: Progressió de càrregues

Per acabar els tres grups després de la intervenció quirúrgica realitzaran el mateix tractament de readaptació de fisioteràpia convencional.

Calendari previst.

Segons els temps que ens marcarem per a la nostra investigació, començarà l'octubre del 2020, després d'haver firmat i tenir en ordre tots els convenis i consentiments necessaris per a la realització de l'estudi.

Per obtenir els subjectes de l'estudi segons els criteris d'inclusió i exclusió, ens posem de data límit el 27 de novembre del 2020.

Una vegada es tinguin els subjectes per a realitzar l'estudi, el 30 de desembre es realitzaran els 3 grups (INTo, INTe i CON) i es portaran a terme els entrenaments dels 2 grups d'intervenció durant tres setmanes, fins al dia 18 de desembre del 2020.

Després de la intervenció quirúrgica dels subjectes, es portarà la recuperació postoperatòria en fisioteràpia els 3 grups per igual fins a l'octubre del 2021. Cada dos mesos es faran valoracions de força i ROM de les extremitats inferiors per agafar les dades.

Un cop tinguem les dades registrades i passades a la base de dades ens donarem fins al 30 de desembre de 2021 per obtenir els resultats i extreure les conclusions pertinents de l'assaig.

Un cop arribat aquest punt donarem per conclòs l'assaig clínic.

6. Pla de difusió

La finalitat d'un estudi de cas en l'àmbit de la salut és donar a conèixer la informació recollida en l'estudi, ja sigui rellevant per a la pràctica dels professionals o perquè és un tema poc estudiat.

Per tant, és necessari realitzar una bona difusió dels resultats de la recerca perquè el nostre estudi sigui llegit pel major nombre de persones possible.

Segons això, intentarem publicar els resultats de la nostra recerca en les revistes de fisioteràpia que tinguin més visibilitat dins de la comunitat científica. Es farà una selecció de les revistes segons la temàtica i el col·lectiu cap al qual estiguin enfocades. En el cas de la nostra recerca buscarem revistes de fisioteràpia esportiva, com podria ser: Physical Therapy in Sport, ja que està més enfocat dins aquest àmbit, tot i que les conclusions i els resultats

d'un futur cas clínic podrien ser extrapolables a la població general, per aquest motiu també es faria difusió dels resultats a les federacions esportives i premsa esportiva.

Els resultats esperats serien que l'entrenament amb restricció de flux sanguini abans d'una intervenció quirúrgica de LCA, redueix el temps de recuperació d'aquesta lesió.

A més també seria interessant acudir a les pròximes edicions dels següents congressos nacionals amb la finalitat de donar major difusió, com podrien ser el congrés internacional de fisioteràpia i medicina de l'esport que es realitza a Madrid.

7. Limitacions i possibles biaixos

Tot projecte d'investigació està condicionat per limitacions i possibles biaixos que s'han de detectar i analitzar per tal de minimitzar al màxim els seus efectes i que l'estudi no perdi qualitat [84]. No detectar-los o pensar que tot allò que es fa, és correcte, seria un gran error i després l'estudi no seria vàlid o no tindria la qualitat desitjada.

- Biaix de selecció: deixem molt clar els criteris d'inclusió i exclusió de la mostra.
- Biaix degut a la representativitat de la mostra: podria ser que no s'arribés a la mostra estimada, fet que podria afectar a la validesa interna de l'estudi. Ja que és difícil trobar lesionats amb aquestes condicions que es vulguin sotmetre a una intervenció, és un biaix que hem de tenir en compte.
- Biaix de pressupost: intentarem que aquest biaix no es produeixi, ja que a l'hora de fer el pressupost inicial més endavant pot ser que faltin recursos i no puguem comptar amb aquests. Per evitar-ho filem prim en el nostre pressupost.
- Biaix per instrument de mesura: abans de fer ús de cadascun dels instruments de mesures es faran unes proves prèvies per comprovar que el funcionament és el correcte, tant abans com després de la intervenció. Sempre portarem material de mesura de més, per si en algun moment no funciona, puguem realitzar les mesures corresponents.
- Biaix per abandonament: aquest biaix l'hem tingut en compte en el fet de fer un càlcul de la mostra que podria abandonar. Per la qual cosa és important fer una estimació.

- Biaix d'interpretació: com nosaltres no som experts en estadística, comptem al nostre equip amb algú que ens faci l'estadística i ens interpreti els resultats.

8. Problemes ètics

Implicacions ètiques

L'estudi es durà a terme d'acord amb els principis de la Declaració d'Hèlsinki i posteriors revisions, així com amb les Directrius per a les bones pràctiques en la recerca d'atenció primària de la Jordi Gol Primary Care Research Institute (IDIAP). El protocol ha estat revisat i aprovat pel Consell Institucional (CEIC) de l'IDIAP, i s'obtindrà el consentiment informat per escrit de tots participants abans de la seva inclusió en l'estudi.

Específicament, totes les persones donaran el seu consentiment informat per escrit de conformitat amb els principis de la Declaració d'Hèlsinki i les disposicions establertes en la llei espanyola (Capítol II, article 7, Reial decret 223/2004, de 6 de febrer 2004); el formulari de consentiment especificarà que la participació en l'estudi és voluntari i els participants poden retirar-se en qualsevol moment. Aquesta informació es proporcionarà tan oralment com per escrit. En aquest estudi, només els investigadors i els professionals de la salut tindran accés a les dades dels participants. Els mètodes d'estudi són consistents amb el CONSORT directrius per a l'informe d'assajos aleatoris [85].

Que es tracti d'un assaig clínic amb voluntaris sans o amb patologia, és important considerar els aspectes ètics. Actualment, tot protocol d'assaig clínic ha de ser avaluat per un organisme independent: el Comité de Ética de la Investigación (CEI). Aquest vetllarà per la seguretat i el benestar dels subjectes que participen en la investigació [86].

L'estudi començarà amb el període d'obtenció de la mostra, en el qual els encarregats del servei de rehabilitació de les diferents mútues federatives derivaran als pacients que compleixin els criteris d'inclusió al projecte de recerca. A partir d'aquest moment, les sessions de tractament i les avaluacions seran dutes a terme pels fisioterapeutes participants en l'estudi, i els metges continuaran amb el seguiment habitual dels pacients al llarg del procés.

En el primer contacte amb el grup de recerca, es proporcionaran al pacient tots els detalls de l'estudi i informació necessària que ha de conèixer.

Els fisioterapeutes encarregats de l'estudi seran prèviament formats en com dur a terme la intervenció i les avaluacions conjuntament, aprenent a aplicar el protocol de l'estudi correctament. D'entre ells, dos fisioterapeutes seran els encarregats de realitzar les avaluacions, i altres dos duran a terme les sessions tant del grup INTO com del grup INTe.

9. Organització de l'estudi

L'estudi es dividirà en diferents fases:

- Direcció
- Creació dels grups
- Formació dels fisioterapeutes
- Tractament
- Anàlisi de dades i estudi
- Difusió

La direcció proveirà d'una efectiva i eficient gestió del procés de consecució del projecte durant tot el període que duri el mateix. El seu principal objectiu consisteix a assegurar una eficient gestió del projecte i una consistent qualitat del treball, així com de la documentació lliurada. A més, ha d'encarregar-se també de les labors administratives i financeres del projecte.

Els principals objectius del director són:

- Assegurar que el lliurament del projecte es realitza en el temps preestablert i dins dels pressupostos pactats.
- Garantir el compliment dels objectius i fites del projecte.
- Assegurar la qualitat del treball.
- Assegurar que la comunicació entre els treballadors del projecte sigui fluida i eficaç.

Es sol·licitarà que el cap de traumatologia de l'hospital Sant Joan de Déu sigui el director.

L'estudi començarà amb el període d'obtenció de la mostra, en el qual els encarregats del servei de les mútues esportives de Catalunya derivaran als pacients que compleixin els criteris d'inclusió al projecte de recerca. A partir d'aquest moment, les sessions de tractament i les avaluacions es duran a terme pels fisioterapeutes participants en l'estudi, aproximadament cada dos mesos, com està especificat al calendari (Annex 1), i els metges continuaran amb el seguiment habitual dels pacients al llarg del procés.

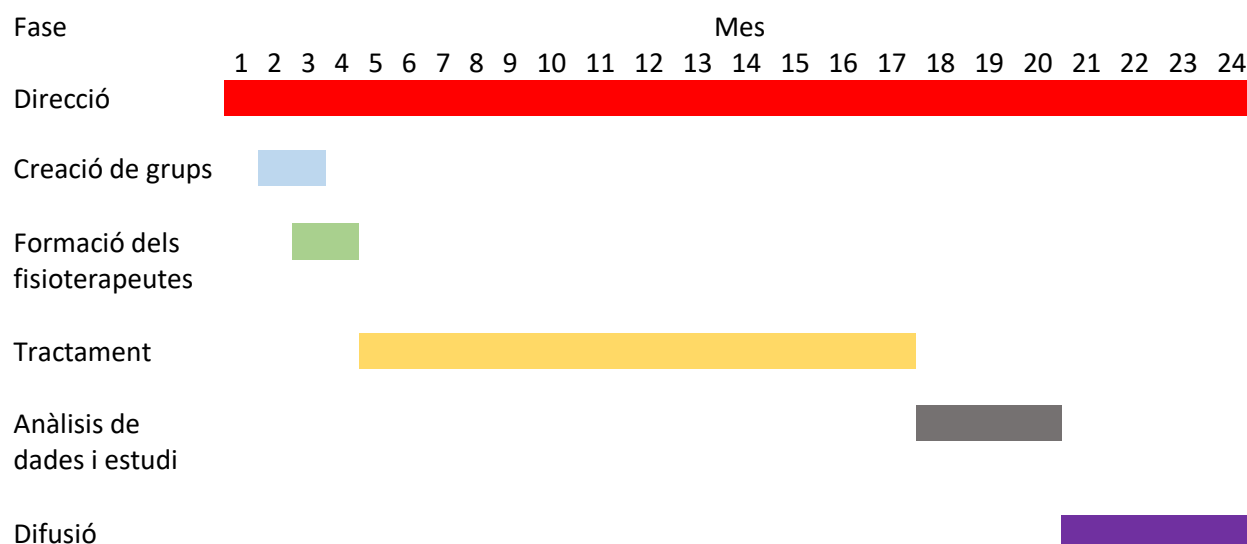
Els fisioterapeutes encarregats de l'estudi seran prèviament formats en com dur a terme la intervenció i les avaluacions conjuntament, aprenent a aplicar el protocol de l'estudi correctament. D'entre ells, dos fisioterapeutes seran els encarregats de realitzar les avaluacions, i altres dos duran a terme les sessions tant del grup amb oclusió i del grup sense aquesta. Al costat d'ells, es donarà la possibilitat a dos estudiants de 5è curs del doble grau Fisioteràpia/Ciències de l'Activitat Física i l'Esport de la Universitat de Lleida a col·laborar en l'estudi com a becaris, un d'ells amb el grup d'avaluadors i l'altre col·laborant en les sessions.

La intervenció serà realitzada en el servei de rehabilitació de l'Hospital Sant Joan de Déu, que compta amb el material bàsic necessari, al qual s'afegiran les màquines de premsa de cames i d'extensió/flexió de cames, que seran cedides pel gimnàs de l'INEFC de Barcelona.

Els dos grups de treball seran dividits en dos per a adaptar-los a l'espai i material disponible. Cada sessió tindrà una durada aproximada de 60 minuts, programant-se dues sessions seguides del mateix grup, per a optimitzar els recursos. D'aquesta manera, el grup amb oclusió dividit en dos realitzarà les seves sessions tots els dilluns dimecres i divendres en el mateix horari al matí, i el grup sense oclusió el farà els mateixos dies a la tarda.

Finalment, l'estudi conclourà amb la fase d'anàlisi dels resultats i d'extracció de conclusions, que durà a terme l'equip de recerca amb la col·laboració d'un expert en estadística, dividint-se les tasques a realitzar entre els propis membres de l'equip i mitjançant reunions col·lectives en les instal·lacions del propi hospital.

Cronograma



Taula 7: Cronograma de l'estudi

Equip de treball proposat

- Director: Cap de traumatologia de l'hospital Sant Joan de Déu.
- Fisioterapeuta 1: Encarregat portar a terme el protocol a més de realitzar els grups.
- Fisioterapeuta 2: Encarregat portar a terme el protocol a més de recollir les dades dels pacients.
- Fisioterapeuta 3: Encarregat portar a terme el protocol a més de recollir les dades de les valoracions.
- Fisioterapeuta 4: Encarregat portar a terme el protocol a més de la formació dels dos becaris.
- Estadista: Analitzar els resultats i treure les conclusions.
- Becaris: Ajudar als fisioterapeutes.

10. Pressupost

Per portar a terme l'estudi caldrà fer una estimació dels recursos necessaris i les despeses de la realització d'aquest. Un cop tinguem detallat el pressupost es podrà demanar finançament perquè el cost no vagi a compte nostre.

Material	Preu €
Dispositiu BFR: KAATSU Master 2.0	4.589,77
Màquines INEFC	0
Primus RS	4.378,53
Estadístic	900
Estudiants 5è Doble grau	0
Licència Programa SPSS	75,35
Hospital Sant Joan de Déu	0
Total	9.943,65

Taula 8: Pressupostos

Els fisioterapeutes i el director, seran treballadors del propi hospital que rebran una bonificació extra del seu salari.

11. Annexos

11.1 Annex 1: Calendari de tractament previst

2020																				
Octubre							Novembre							Desembre						
DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg
			1	2	3	4							1		1	2	3	4	5	6
5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	7	8	9	10	11	12	13
12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	14	15	16	17	18	19	20
19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22	21	22	23	24	25	26	27
26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29	28	29	30	31			
							30													
2021																				
Gener							Febrer							Març						
DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg
				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21

18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28
25	26	27	28	29	30	31								29	30	31				
2021																				
Abril							Maig							Juny						
DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg
			1	2	3	4						1	2		1	2	3	4	5	6
5	6	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13
12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20
19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27
26	27	28	29	30			24	25	26	27	28	29	30	28	29	30				
							31													
2021																				
Juliol							Agost							Setembre						
DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg
			1	2	3	4							1			1	2	3	4	5
5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12
12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19
19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26
26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30			
							30	31												
2021																				
Octubre							Novembre							Desembre						
DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg	DI	Dm	Dx	Dj	Dv	Ds	Dg
				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7			1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26
25	26	27	28	29	30	31	29	30						27	28	29	30	31		

Inici i final obtenció de subjectes	Realització de grups	Dies intervenció	Valoracions de força i ROM	Final de l'assaig clinic
-------------------------------------	----------------------	------------------	----------------------------	--------------------------

12. Bibliografia

1. Duthon V, Barea C, Abrassart S, Fasel J, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006; 14: 204-13.
2. Brukner P, Khan K, Clarsen B, Cook J, Cools A, Crossley K et al. *Brukner & Khan's clinical sports medicine.* 2018.
3. Lam S. Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament Using the Jones Procedure and Its Guy's Hospital Modification. *J Bone Joint Surg Am.* 1968; 50: 1213-24.
4. Norwood LA, Cross MJ. Anterior cruciate ligament: functional anatomy of its bundles in rotatory instabilities. *Am J Sports Med.* 1979; 7: 23-26.
5. Amis A, Dawkins G. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament; fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surgery.* 1991; 73B (2): 260-67)
6. Ellison AE, Berg EE. Embriology, anatomy, and function of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin NA.* 1985; 16: 3-14.
7. Scapinelli R. Studies on the Vasculature of the Human Knee Joint. *Acta Anat.* 1968; 70: 305-31.
8. Wladmirow B. Arterial Sources of Blood Supply of the Knee Joint in Man. *Acta Med.* 1968. 47: 1-10.
9. Hogervost T, Brand R. Mechanoreceptors in joint function. *J Bone Joint Surg.* 1998; 80A: 1365-77.
10. Rosenberg A, Micos R. Biomecánica de la rodilla. En Scott N. *Lesiones de los ligamentos y del aparato extensor de la rodilla. Diagnóstico y tratamiento.* NY. Ed Mosby. 1992
11. Sanjuan R, Jiménez PJ, Gil ER, Sanchez J, Fenollosa J. Biomecánica de la rodilla. *Patología del aparato locomotor.* 2005; 3(3): 189-200.
12. Sakane M, Fox RJ, Woo SL-Y, et al. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res.* 1997; 15: 285-93. 139.
13. Fu FH, Bennett CH, Lattermann C, et al; Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: biology and biomechanics of reconstruction. *Am J Sports Med.* 1999; 27: 821-30.
14. Bach J, Hull M. Strain inhomogeneity in the anterior cruciate ligament under application of externa and muscular loads. *J Biomech Engin.* 1998; 120: 497-503.

15. Mall N, Lee A, Cole B, Verma N. The functional and surgical anatomy of the anterior cruciate ligament. *Op Tech Sports Med.* 2013; 21: 2-9.
16. Hollis JM, Takai S, Adams DJ, et al; The effects of knee motion and external loading on the length of the anterior cruciate ligament (ACL): a kinematic study; *J Biomech Eng.* 1991; 113: 208-14.
17. Yamamoto Y, Hsu WH, Woo SL, Van Scyoc AH, Takakura Y, Debski RE. Knee stability and graft function after anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of a lateral and an anatomical femoral tunnel placement. *Am J Sports Med.* 2004; 32: 1825–32.
18. Domnick C, Raschke M, Herbort M. Biomechanics of the anterior cruciate ligament: Physiology, rupture and reconstruction techniques. *World Journal of Orthopedics.* 2016;7(2):82.
19. Parkkari J, Pasanen K, Mattila V, Kannus P, Rimpela A. The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population-based cohort study of 46 500 people with a 9 year follow-up. *British Journal of Sports Medicine.* 2008;42(6):422-426.
20. Tejeiro V, Martínez P. Aspectos metodológicos de la iniciación deportiva a los deportes de invasión: una aproximación horizontal. *Apunts Educación Física y Deportes.* 2006;núm. 83:35-42.
21. O'Connor, F. G., Sallis, R. E., Wilder, R. P., & Patrick, S. P. (2004). *Sports Medicine (just the facts)*: McGraw Hill.
22. Torry, M. R., Decker, M. J., Ellis, H. B., Shelburne, K. B., Sterett, W. I., & Steadman, J. R. (2004). Mechanisms of compensating for anterior cruciate ligament deficiency during gait. *Med Sci Sports Exerc*, 36(8), 1403-1412.
23. Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior Cruciate Ligament Injury: Identification of Risk Factors and Prevention Strategies. *Curr Sports Med Rep.* 2014 May- Jun;13(3):186-91. Flaxman TE, Smith AJ, Benoit DL. Sex-related differences in neuromuscular control: Implications for injury mechanisms or healthy stabilisation strategies?. *J Orthop Res.* 2014 Feb;32(2):310-7.
24. Sutton KM, Bullock JM. Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013 Jan;21(1):41-50.

25. Cheung EC, Boguszewski DV, Joshi NB, Wang D, McAllister DR. Anatomic Factors that May Predispose Female Athletes to Anterior Cruciate Ligament Injury. *Curr Sports Med Rep*. 2015 Sep-Oct;14(5):368-72.
26. Price M, Tuca M, Cordasco F, Green D. Nonmodifiable risk factors for anterior cruciate ligament injury. *Current Opinion in Pediatrics*. 2017;29(1):55-64.
27. Bollen SR, Scott BW. Rupture of the anterior cruciate ligament—a quiet epidemic? *Injury* Jul 1996;27(6):407–9.
28. Parwaiz H, Teo AQ, Servant C. Anterior cruciate ligament injury: A persistently difficult diagnosis. *Knee*. 2016 Jan;23(1):116-20.
29. Bressy G, Lustig S, Neyret P, Servien E. Inestabilidades de rodilla. *EMC - Aparato locomotor* 2016;49(1):1-17.
30. Mulligan EP, Harwell JL, Robertson WJ. Reliability and diagnostic accuracy of the Lachman test performed in a prone position. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011 Oct;41(10):749–57.
31. Huang W, Zhang Y, Yao Z, Ma L. Clinical examination of anterior cruciate ligament rupture: a systematic review and meta-analysis. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2016;50(1):22-31.
32. Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans C. Clinical Diagnosis of an Anterior Cruciate Ligament Rupture: A Meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2006;36(5):267-288.
33. Nakamura N, Zaffagnini S, Marx R, Musahl V. Controversies in the Technical Aspects of ACL Reconstruction. 2017.
34. Robert H, Nouveau S, Gageot S, Gagnière B. A new knee arthrometer, the GNRB: experience in ACL complete and partial tears. *Orthop Traumatol Surg Res* 2009; 95:171-176.
35. López R, Méndez L I, Zurita N, Pardo M, Abad J I Treatment of ruptured anterior cruciate patella ligament, by means of a bone-tendon-bone (BTB) reconstruction. Functional results. 2002 162-166
36. Cross MJ, Roger G, Kujawa P, et al: Regeneration of the semitendinosus and gracilis tendons following their transection for repair of the anteriorcruciate ligament. *Am J Sports Med* 20: 221-223, 1992

37. Escamilla R, Macleod TD, Wilk KE, Paulos L, Andrews JR. Anterior Cruciate Ligament Strain and Tensile Forces for Weight-Bearing and Non-Weight-Bearing Exercises: A Guide to Exercise Selection. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012 Mar;42(3):208-20.
38. Boguszewski D, Tomaszewska I, Adamczyk JG, Białoszewski D. Evaluation of effectiveness of kinesiology taping as an adjunct to rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. Preliminary report. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2013 Oct 31;15(5):469-78.
39. Ramos, J., López, F., Segovia, J., Martínez, H., y Legido, J. (2008). Rehabilitación del paciente con lesión del ligamento cruzado anterior de la rodilla (LCA). Revisión. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 8(29), 62-92.
40. Chmielewski TL, George SZ, Tillman SM, Moser MW, Lentz TA, Indelicato PA, Trumble TN, Shuster JJ, Cicuttini FM, Leeuwenburgh C. Low- Versus High-Intensity Plyometric Exercise During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016 Mar;44(3):609-17.
41. Daniel DM, Malcom LL, Losse G. et al. Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1985; 67:720.
42. Robert H Nueva S, S Gageot Gagniere B (2009) Un nuevo artrómetro la rodilla, el GNRB: experiencia en rupturas del LCA completas y parciales. *Orthop Surg Traumatol Res* 95: 171-176
43. Rodríguez D, Seara N, Glavina B. Ratios isocinéticos de flexo-extensores de rodilla en jugadores de fútbol y rugby. *Rev Iberoam Fisioter Kinesiol.* 2006; 9(2):46-51.
44. Ayala F, Sainz de Baranda P, de Ste Croix M, Santoja F. Revisión de Validez y fiabilidad de los ratios de fuerza isocinética para la estimación de desequilibrios musculares. *Apunts Med Esport.* 2012; 47(176):131-42.
45. Hassani A, Patikas D, Bassa E, Hatzikotoulas K, Kellis E, Kotzamanidis C. Agonist and antagonist muscle activation during maximal and submaximal isokinetic fatigue tests of the knee extensors. *Jour Elect Kines.* 2006; 16(6):661-8.
46. Wilk K, Macrina L, Cain EL, Dugas J, Andrews J. Recent advances in the rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012; 42(3):153-71.
47. Freckleton G, Cook J, Pizarra T. The predictive validity of a single leg bridge test for hamstring injuries in Australian Rules Football Players. *Br J Sports Med;* 2014; 48(8):713- 20.

48. Myer GD, Paterno MV, Ford KR, Quatman CE, Hewett TE. Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Criteria-Based Progression Through the Return-to-Sport Phase. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006; 36(6):385-402.
49. Slys J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2016; 8: 669-75.
50. Sato Y. The history and future of Kaatsu Training. *Int J Kaatsu Training Res.* 2005; 1: 1-5.
51. Wernbom, M et al. Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 2008;18(4):401-16pp.
52. Vanwyke WR, Weatherholt AM, Mikesky AE. Blood Flow Restriction Training: Implementation into Clinical Practice. *Int J Exerc Sci.* 2017 Sep 1;10(5):649-654.
53. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2017 Jul;51(13):1003-1011.
54. Reina-Ramos C, Domínguez R. Blood flow restriction training and muscle hypertrophy. *Rev Int Cienc Deporte.* 2014; 10: 366-382.
55. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res.* 2013; 27: 2914-26.
56. Park SY, Kwak YS, Harveson A, Weavil JC, Seo KE. Low intensity resistance exercise training with blood flow restriction: insight into cardiovascular function, and skeletal muscle hypertrophy in humans. *Korean J Physiol Pharmacol.* 2015; 3: 191-6.
57. Neto GR, Novaes JS, Dias I, Brown A, Vianna J, Cirilo-Sousa MS. Effects of resistance training with blood flow restriction on haemodynamics: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016.
58. Vilaça-Alves J, Neto GR, Morgado NM, Saavedra F, Lemos, R, Moreira TR, Novaes JS, Rosa C, Reis VM. Acute Effect of Performed Upper and Lower Limbs Resistance Exercises with Blood Flow Restriction on Hemodynamics. *JEPonline.* 2016; 3: 100-109.
59. Loenneke JP, Abe T, Wilson JM, Thiebaud RS, Fahs CA, Rossow LM, Bemben MG. Blood flow restriction: an evidence based progressive model (Review). *Acta Physiol Hung.* 2012; 3: 235-50.

60. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med.* 2015; 2: 187-200.
61. Kawada S. What phenomena do occur in blood flow-restricted muscle?. *Int J Kaatsu Training Res.* 2005; 1: 37-44.
62. Loenneke JP, Wilson GJ, Wilson JM. A mechanistic approach to blood flow occlusion. *Int J Sports Med.* 2010; 1:1-4.
63. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev.* 2009; 2:78-85.
64. Córdova. Fisiología dinámica. 3ª Ed. Barcelona: Masson; 2014.
65. Brandner CR, Warmington SA, Kidgell DJ. Corticomotor Excitability is Increased Following an Acute Bout of Blood Flow Restriction Resistance Exercise. *Front Hum Neurosci.* 2015; 9: 1-10.
66. Loenneke JP, Pujol TJ. The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *J Strength Cond Res.* 2009; 31: 77-84.
67. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *J Sci Med Sport.* 2016; 5: 360-7.
68. Bianquetti D. Efectos del entrenamiento de fuerza bajo oclusión parcial superimpuesta sobre el edema muscular y el diámetro del tendón. Universidad Politécnica de Valencia. 2014.
69. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bemben M. Overview of neuromuscular adaptations of skeletal muscle to Kaatsu Training. *Int J Kaatsu Training Res.* 2007; 3: 1-9.
70. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bemben MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 5: 1849-59.
71. Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, Meguro K, Sato Y, Nagata T. Use and safety of Kaatsu training: results of a national survey. *Int J Kaatsu Training Res.* 2006; 2: 5-13.
72. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bemben MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports.* 2011; 4: 510-8.
73. Poton R, Polito MD. Hemodynamic response to resistance exercise with and without blood flow restriction in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016; 36: 231-6.

74. Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. Does blood flow restriction result in skeletal muscle damage? A critical review of available evidence. *Scand J Med Sci Sports*. 2014; 24: e415-422.)
75. Kubo K, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Appl Biomech*. 2006; 22: 112-9.
76. Picón Martínez M. Efectos agudos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo sobre el tendón, la respuesta cardiovascular y la respuesta muscular. 2018;1. Disponible a: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=167005>
77. Anderson M, Browning W, Urband C, Kluczynski M, Bisson L. A Systematic Summary of Systematic Reviews on the Topic of the Anterior Cruciate Ligament. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2016;4(3):232596711663407.
78. Pinczewski L, Lyman J, Salmon L, Russell V, Roe J, Linklater J. A 10-Year Comparison of Anterior Cruciate Ligament Reconstructions with Hamstring Tendon and Patellar Tendon Autograft. *The American Journal of Sports Medicine*. 2007;35(4):564-574.
79. Abbey T, Villwock M, Wojtys E, Palmieri-Smith R. Lower Extremity Muscle Strength After Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction. *Journal of Athletic Training*. 2013.
80. Williams G, Snyder-Mackler L, Barrance P, Buchanan T. Quadriceps femoris muscle morphology and function after ACL injury: a differential response in copers versus non-copers. *Journal of Biomechanics*. 2005;38(4):685-693.
81. Castro ABS. El aeiou de la investigación en enfermería. 1ªEd. Fuden; 2013.
82. Shechtman O, Davenport R, Malcolm M, Nabavi D. Reliability and validity of the BTE-Primus grip tool. *Journal of Hand Therapy*. 2003;16(1):36-42.)
83. Altariba A. Assessment of maximum strength, maximum power and fatigue of the quadriceps in healthy subjects according to sex and dominance by dynamometry. *Medicine and Health Sciences*. 2018 May.
84. Manterola C, Otzen T. Los Sesgos en Investigación Clínica. *Int J Morphol*. 2015;33(3):1156–64.
85. Lazcano-Ponce E, Salazar-Martinez E, Gutiérrez-Castrelló P, Angeles-Llerenas A, Hernández-Garduño A, Viramontes JL. Ensayos clínicos aleatorizados: Variantes,

métodos de aleatorización, análisis, consideraciones éticas y regulación. Salud Publica
Mex. 2004;46(6):559–84.

86. Valdivieso A. Ética En Investigación Clínica. Bol la escuela Med. 1998;1.